

Pemanfaatan karbon aktif dari sabut kelapa sebagai elektroda superkapasitor

Early Reynol Tumimomor^{*a}, Septiany Christin Palilingan^b

^aIlmu Fisika FMIPA, Universitas Negeri Manado, Tondano, 95619, Indonesia

^bIlmu Kimia FMIPA, Universitas Negeri Manado, Tondano, 95619, Indonesia

INFO ARTIKEL

Diterima 13 Maret 2018

Disetujui 27 Maret 2018

Key word:

Coconut fiber,
activated carbon,
The specific capacitance,
Supercapacitor

Kata kunci:

Sabut kelapa,
Karbon aktif,
Kapasitansi spesifik,
Superkapasitor.

*e-mail:

farlytumimomor@unima.ac.id

*Telp:

085289424554

ABSTRACT

In this study, coconut fiber based activated carbon has been used for fabrication of supercapacitors. Iodine absorption test is performed to measured absorption level porous activated carbon sample size is relatively small (microporous). Characteristics of the activated carbon material covering the surface morphology and structure were tested using SEM and XRD. Electrode materials with composition (Activated charcoal: PVDF = 9: 1 (w / w)), the current collector and separator has been assembled to be tested its performance as an electrical charge storage device. The test results by cyclic voltammetry method was to look at the performance supercapacitor devices at once to obtain the value of the capacitance curve obtained voltammograms. Based on the results of the calculation of the capacitance, the highest capacitance values obtained in the supercapacitor with activated carbon electrodes in coconut fiber steam 50 mL / bar with a capacitance value is 50.73 F / g.

ABSTRAK

Pada penelitian ini, karbon aktif berbasis sabut kelapa telah digunakan untuk pembuatan superkapasitor. Uji daya jerap iodin dilakukan untuk mengukur tingkat serapan pori sampel karbon aktif yang ukurannya relatif kecil (mikropori). Karakteristik bahan karbon aktif yang meliputi struktur kristal dan morfologi permukaannya diuji dengan menggunakan SEM dan XRD. Bahan elektroda dengan komposisi (Karbon aktif : PVDF = 9:1 (b/b)), kolektor arus dan separator telah dirangkai untuk diuji kinerjanya sebagai perangkat penyimpanan muatan listrik. Metode siklik voltametri digunakan untuk melihat kinerja perangkat superkapasitor dengan mengukur nilai kapasitansi spesifik berdasarkan kurva voltammogram. Berdasarkan hasil perhitungan nilai kapasitansi spesifik diperoleh nilai kapasitansi spesifik tertinggi pada superkapasitor dengan elektroda sabut kelapa yang diaktivasi dengan steam 50 mL/bar yaitu sebesar 50.73 F/g.

Pendahuluan

Penyediaan energi di masa depan merupakan permasalahan yang senantiasa menjadi perhatian semua bangsa karena bagaimanapun juga kesejahteraan manusia dalam kehidupan modern sangat terkait dengan jumlah dan mutu energi yang dimanfaatkan. Bagi Indonesia yang merupakan salah satu negara sedang berkembang, penyediaan energi khususnya energi listrik merupakan faktor yang sangat penting dalam mendorong pembangunan.

Menurut La Ode Muhammad pemakaian energi listrik selama kurun waktu tahun 2000 sampai dengan tahun 2025 diperkirakan meningkat rata-rata 7,1% per tahun [1].

Energi listrik dapat dihasilkan dari sumber energi terbarukan seperti, matahari dan angin, akan tetapi efektivitas penggunaannya membutuhkan penyimpanan energi listrik yang efisien. Pengembangan dalam sistem penyimpanan energi listrik sangat penting untuk penyamarataan efektivitas alami siklus sumber-sumber energi

[2].

Baterai dan superkapasitor adalah teknologi sistem penyimpanan energi listrik terkemuka saat ini. Keduanya didasarkan pada mekanisme elektrokimia. Baterai menyimpan energi listrik dalam senyawa kimia yang mampu menghasilkan muatan, sedangkan superkapasitor menyimpan energi listrik secara langsung sebagai muatan [3]. Dingemukakan bahwa dalam beberapa tahun terakhir, superkapasitor sangat menarik perhatian dalam teknologi penyimpanan energi listrik karena memiliki kerapatan energi yang lebih tinggi dibandingkan kapasitor konvensional dan kerapatan daya yang lebih tinggi dibandingkan baterai. Keuntungan lain dari superkapasitor adalah tingkat pengisian yang cepat dan umur siklus pengisian yang Panjang [4].

Salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat keefektifan superkapasitor adalah penggunaan bahan elektroda. Karbon aktif adalah salah satu jenis bahan yang secara luas telah digunakan sebagai bahan elektroda untuk superkapasitor karena memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi, ketahanan kimia, konduktivitas listrik yang baik dan harga yang terjangkau [5]; [6]; [7]. Sabut kelapa dapat dijadikan sumber bahan baku dalam pembuatan karbon aktif. Kandungan karbon dalam selulosa yang terdapat pada sabut kelapa, menjadikan bahan ini dapat dijadikan alternatif dalam pembuatan karbon aktif.

Pada penelitian ini, telah dibuat dan dikarakterisasi superkapasitor menggunakan bahan karbon aktif berbasis sabut kelapa sebagai elektroda dengan aktivator KOH dan variasi laju aliran uap air dalam proses aktivasi untuk menghasilkan perangkat penyimpanan energi listrik dan pada akhirnya menghasilkan teknologi sistem penyimpanan energi listrik yang ekonomis.

Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah arang sabut kelapa, KOH, HCl 10%, akuades, pH indikator, PVDF 10%, larutan NMP, larutan elektrolit H₂SO₄ 1 M, larutan AgNO₃ 0,1 M, membran PTFE, plastik acrylic, stainless steel 100 mesh.

Proses aktivasi sabut kelapa

Tahap pertama adalah pembentukan arang sabut kelapa melalui proses karbonisasi pada suhu 400°C selama 4 jam, selanjutnya mencampur KOH dan arang dengan perbandingan massa 3:1. Campuran ini dibiarkan selama 24 jam untuk menjamin keberlangsungan proses difusi ke bagian dalam pori arang. Tahap selanjutnya campuran dijemur sampai kering. Serbuk arang yang sudah dicampur tersebut diaktivasi pada suhu 800° selama 60 menit (Aripin dkk. 2010) dengan variasi laju uap air (*steam*) 25 mL/bar dan 50 mL/bar. Tahap terakhir adalah pencucian arang dengan HCl dan aquades untuk membuang senyawa garam alkali. Karbon aktif selanjutnya dikeringkan pada suhu 100°C selama 24 jam untuk mengeluarkan uap air yang terjebak di dalam pori.

Uji daya jerap iodin

Karbon aktif ditimbang sebanyak 0,25 gram, kemudian dilarutkan dalam 25 mL larutan iodin 0,1 N dalam labu Erlenmeyer. Labu Erlenmeyer tersebut selanjutnya digoyang selama 15 menit, kemudian disaring dengan kertas saring. Larutan iodin hasil saringan tersebut diambil sebanyak 10 mL dititrasikan dengan larutan Na₂S₂O₃ 0,1 N sampai warna larutan menjadi bening. Perlakuan titrasi tersebut dilakukan sebanyak 2 kali (duplo).

Uji konduktivitas

Karbon aktif ditimbang sebanyak 0,3 gram, kemudian dimasukkan ke dalam tabung silinder berdiameter 1,51 cm dan panjang ± 10 cm. Karbon aktif yang telah dimasukkan dalam tabung ditutup dengan cara ditekan dengan penutup tabung hingga tertutup rapat. Setelah itu tabung silinder yang telah berisi arang tersebut diuji konduktivitasnya dengan menggunakan LCR meter.

Pembuatan elektroda karbon aktif

Karbon aktif dikeringkan pada suhu 100°C dalam oven selama 1 jam untuk menghilangkan uap air. Setelah itu didinginkan dalam desikator selama 15 menit. Selanjutnya dibuat campuran karbon aktif dengan PVDF (*polyvinylidene flouride*) sebanyak

0,5 gram, dengan perbandingan karbon aktif : PVDF (9:1 (b/b)). Kemudian campuran tersebut ditambahkan larutan NMP (*pyrrolidinone*) hingga membentuk gel, sambil diaduk selama 15 menit. Setelah itu gel yang terbentuk tersebut dioles diatas permukaan *stainless steel* 100 *mesh*, dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 100 °C selama ± 24 jam.

Pembuatan superkapasitor

Dua elektroda karbon aktif ditimbang. Selanjutnya masing-masing elektroda tersebut beserta separator dibasahi dengan larutan elektrolit H₂SO₄ 1 M. Selanjutnya dua buah elektroda karbon aktif dan separator yang telah dibasahi H₂SO₄ disusun, dimana separator berada di antara kedua elektroda dan ketiga susunan tersebut dimampatkan dengan menggunakan plastik akrilik dan sekrup.

Hasil dan Pembahasan

1. Daya jerap iodin dan konduktivitas

Uji daya jerap iodin dilakukan untuk mengukur tingkat serapan pori yang ukurannya relatif kecil (mikropori). Hasil pengujian daya jerap iodin menunjukkan bahwa daya jerap iodin karbon aktif sabut kelapa dengan *steam* 25 mL/bar memiliki nilai yang lebih tinggi yaitu 839,01 mg/g dibandingkan sabut kelapa dengan *steam* 50 mL/bar yaitu 761,87 mL/bar (Tabel 1). Hal ini disebabkan karena dengan penambahan *steam* menyebabkan sejumlah pori dalam karbon aktif menjadi lebih besar, sehingga nilai uji daya jerap iodin untuk karbon aktif sabut kelapa dengan *steam* 25 mL/bar relatif lebih kecil dibandingkan dengan *steam* 50 mL/bar.

Tabel 1. Uji daya iodin dan konduktivitas sabut kelapa

Sampel	Daya jerap iodin (mg/g)	Konduktivitas (S/m)
Kontrol	703,87	44,03
<i>Steam</i> 25	839,01	108,95
<i>Steam</i> 50	761,87	125,78

Ketika dibandingkan dengan kontrol (arang tanpa perlakuan penambahan KOH dan *steam*) didapatkan bahwa arang yang telah

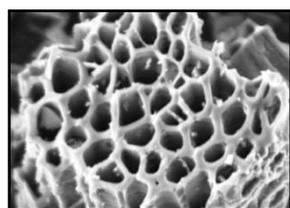
diaktivasi dengan KOH dan *steam* 25 mL/bar, menunjukkan nilai daya jerap iodin yang cenderung lebih besar. Hal ini disebabkan dengan meningkatnya rasio penambahan KOH dapat menyebabkan peningkatan porositas [5, 7, 8].

Hasil pengukuran konduktivitas menunjukkan bahwa nilai konduktivitas dari karbon aktif cenderung makin besar seiring dengan peningkatan *steam* yaitu sebesar 108,95 S/m untuk karbon aktif sabut kelapa dengan *steam* 25 mL/bar dan 125,78 S/m untuk karbon aktif sabut kelapa dengan *steam* 50 mL/bar. Faktor yang membuat konduktivitas karbon aktif dengan *steam* 50 mL/bar lebih besar dari *steam* 25 mL/bar karena adanya perbedaan kerapatan dan resistansi (hambatan) antara kedua sampel, dimana karbon aktif dengan *steam* 25 mL/bar memiliki kerapatan dan resistansi yang lebih besar dibandingkan dengan *steam* 50 mL/bar. Hal ini sejalan dengan teori yang menyatakan bahwa nilai konduktivitas suatu bahan akan berbanding terbalik dengan kerapatan dan resistansinya.

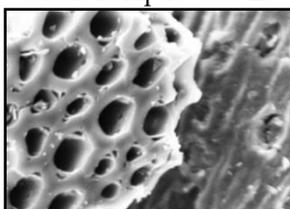
2. Morfologi karbon aktif

Morfologi karbon aktif sabut kelapa dengan *steam* 25 mL/bar dan *steam* 50 mL/bar, dapat diamati dengan sistem *Scanning Electron Microscopy* (SEM). SEM dapat memberikan gambaran mendetail mengenai morfologi permukaan, yaitu spesifik pada partikel karbon dan pori pada karbon aktif. Gambar 1 menunjukkan hasil SEM pada karbon aktif sabut kelapa dengan perlakuan *steam* 25 mL/bar dan 50 mL/bar dengan perbesaran hingga 1000 kali. Perlakuan aktivasi mengakibatkan terbentuknya pori pada permukaan karbon aktif. Perlakuan *steam* 25 mL/bar dan 50 mL/bar pada proses aktivasi sampel karbon aktif menyebabkan terbentuknya perbedaan struktur pori pada permukaan karbon aktif. Dari Gambar 1 tampak bahwa struktur pori pada permukaan karbon aktif sabut kelapa *steam* 50 mL/bar memiliki struktur pori dengan distribusi yang lebih seragam, teratur dan *smooth* juga cenderung memiliki ukuran pori yang lebih besar dibandingkan arang sabut kelapa dengan *steam* 25 mL/bar. Hal ini diduga dapat disebabkan karena perlakuan *steam* yang lebih

besar hingga 2 kali lipat sehingga dapat menyebabkan terbentuknya ukuran pori yang lebih besar dan distribusi yang lebih merata.



Sabut kelapa *steam* 25

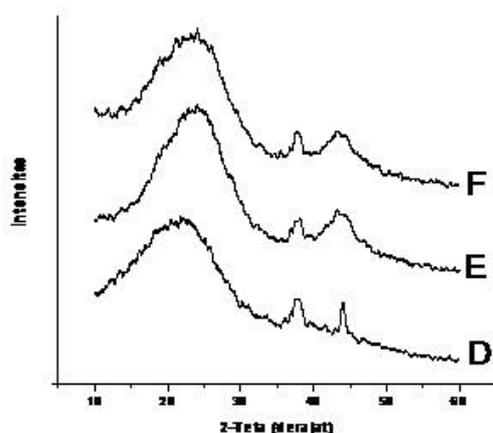


Sabut kelapa *steam* 50

Gambar 1. Citra sem karbon aktif (a) Sabut kelapa dengan *steam* 25 dan (b) Sabut kelapa dengan *steam* 50

3. Struktur karbon aktif

Gambar 2 menunjukkan pola difraksi sinar-X (XRD) karbon aktif sabut kelapa.



Gambar 2. Difraktogram XRD karbon aktif (a) sabut kontrol; (b) sabut *steam* 25; (c) sabut *steam* 50

Pola difraksi yang ditunjukkan melalui difraktogram XRD pada Gambar 2, mengindikasikan bahwa sampel karbon aktif yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk grafit, amorf, dan tersusun dari atom-atom karbon. Hal tersebut sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Pari dkk. dengan menggunakan sampel karbon aktif dari serbuk sengo [9]. Setelah diketahui bentuk

dan struktur sampel karbon aktif dengan mengidentifikasi pola difraksinya, maka dapat ditelusuri lebih lanjut mengenai tinggi lapisan (Lc), lebar lapisan (La), jumlah lapisan (N) dan jarak antar lapisan (d) dari sampel karbon aktif tersebut, yang dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Tinggi (lc), lebar (la), jarak antar lapisan (d) dan jumlah (n) lapisan aromatik dari karbon aktif sabut kelapa

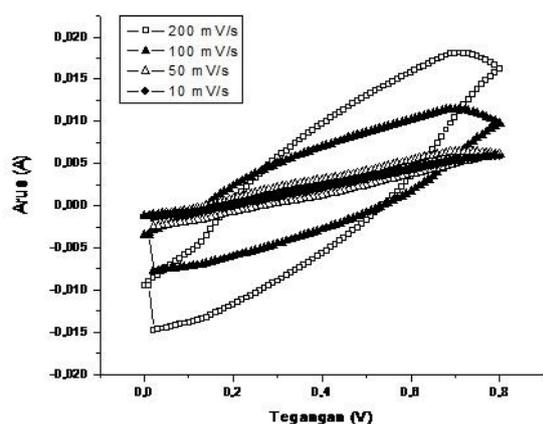
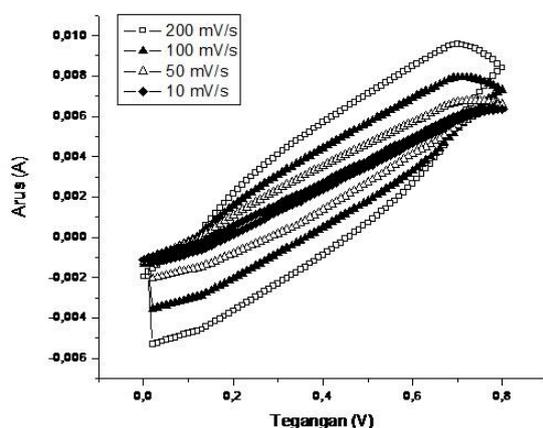
Sampel	d (nm)	Lc (nm)	La (nm)	N
Kontrol	0,37	8,41	70,42	22,67
<i>Steam</i> 25	0,37	8,41	73,36	22,67
<i>Steam</i> 50	0,37	7,25	77,24	19,55

Perlakuan *steam* (25 mL/bar dan 50 mL/bar) menyebabkan tinggi lapisan (Lc) antar susunan aromatik pada sampel sabut kelapa cenderung semakin menurun. Hal ini menggambarkan ikatan atom antar karbon menyempit sehingga memperpendek jarak atom antar karbon yang berakibat memperkecil nilai Lc.

Begitu juga dengan jumlah lapisan aromatik (N) yang cenderung semakin kecil dengan meningkatnya perlakuan *steam*, sementara jarak antar lapisan aromatik (d) relatif tetap. Namun, lebar lapisan (La) mengalami peningkatan dengan meningkatnya perlakuan *steam*.

4. Kapasitansi spesifik

Variasi laju *scan* untuk masing-masing sampel dilakukan untuk mendapatkan nilai kapasitansi tertinggi. Berdasarkan hasil pengukuran untuk masing-masing sampel diperoleh hasil seperti terlihat pada Gambar 3. Hasil pengukuran dengan metode siklik voltametri menunjukkan kurva yang hampir menyerupai empat persegi panjang. Hal ini sesuai dengan hasil yang dikemukakan oleh Ra dkk yang menyatakan bahwa bentuk kurva untuk superkapasitor yang berbahan dasar karbon adalah berupa empat persegi Panjang [10].

Sabut kelapa *steam* 25Sabut kelapa *steam* 50

Gambar 3. Variasi laju *scan* superkapasitor berbasis bambu dengan variasi *steam*

Hasil variasi laju *scan* pada masing-masing sampel (*steam* 25 dan 50) menunjukkan bahwa semakin rendah nilai laju *scan* luas daerah yang ditunjukkan semakin kecil, dimana luas daerah yang terkecil yaitu pada laju *scan* 10 mV/s. Hal ini karena arus yang dihasilkan pada laju *scan* 10 mV/s lebih rendah dibandingkan dengan laju *scan* 50 mV/s, 100 mV/s, dan 200 mV/s.

Tingkat kemiringan kurva pada Gambar 2 menunjukkan resistansi internal pada tiap laju *scan*, dimana tingkat kemiringan yang tertinggi dapat dilihat pada laju *scan* 200 mV/s yang berarti bahwa resistansi internal tertinggi yaitu pada laju *scan* 200 mV/s. Hal ini menyebabkan resistansi ohmik untuk pergerakan ion dalam elektrolit semakin besar, sehingga pembentukan lapisan ganda antara elektroda

dan ion elektrolit menjadi terbatas yang menyebabkan nilai kapasitansi semakin kecil [11]. Kemiringan kurva siklik voltametri yang terendah yaitu pada laju *scan* 10 mV/s yang berarti resistansi internal terendah terdapat pada laju *scan* 10 mV/s untuk masing-masing sampel. Hal ini menunjukkan kemampuan paling tinggi superkapasitor dalam menyimpan muatan [12, 13]. Hasil perhitungan nilai kapasitansi untuk masing-masing sampel pada variasi laju *scan* dapat dilihat pada Gambar 3.

Berdasarkan Tabel 3, tampak bahwa nilai kapasitansi spesifik yang dimiliki oleh superkapasitor dengan elektroda sabut pada *steam* 50 mL/bar lebih tinggi yaitu sebesar 50,73 F/g dibandingkan superkapasitor elektroda bambu dengan *steam* 25 mL/bar yaitu sebesar 44,30 F/g. Tingginya nilai kapasitansi spesifik pada superkapasitor elektroda sabut dengan *steam* 50 mL/bar diduga terkait dengan konduktivitas yang dimilikinya lebih tinggi dibandingkan dengan konduktivitas yang dimiliki oleh elektroda sabut dengan *steam* 25 mL/bar (Tabel 1). Selain itu peningkatan *steam* diduga dapat memperbesar pori karbon aktif sabut kelapa yang menyebabkan distribusi ion elektrolit yang lebih banyak untuk pembentukan lapisan ganda antara elektroda dan ion sehingga menyebabkan nilai kapasitansi spesifik semakin meningkat [14, 15].

Tabel 3. Perbandingan nilai kapasitansi elektroda sabut kelapa

Sampel	Kapasitansi (F/g)
<i>Steam</i> 25	44,30
<i>Steam</i> 50	50,73

Kesimpulan

Karbon aktif berbasis bambu sebagai elektroda superkapasitor berhasil dibuat. Berdasarkan hasil penelitian, nilai kapasitansi spesifik tertinggi dimiliki oleh superkapasitor dengan elektroda karbon aktif bambu pada aktivasi *steam* 50 yaitu 59,50 F/g. Hal ini menunjukkan bahwa karbon aktif berbasis bambu layak untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan elektroda superkapasitor.

Daftar Pustaka

1. Wahid, L. O. M. A., Sensitivitas Analisis Potensi Produksi Pembangkit Listrik Renewable Untuk Penyediaan Listrik Indonesia. In *Strategi Penyediaan Listrik Nasional Dalam Rangka Mengantisipasi Pemanfaatan PLTU Batubara Skala Kecil, PLTN, Dan Energi Terbarukan.*, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Konversi dan Konservasi Energi BPPT: Jakarta, 2005; pp 13-22.
2. Hu, C. Fluid coke derived activated carbon as electrode material for electrochemical double layer capacitor. University of Toronto, 2008.
3. Li, Y.; Van Zijll, M.; Chiang, S.; Pan, N., KOH modified graphene nanosheets for supercapacitor electrodes. *Journal of Power Sources* **2011**, 196, (14), 6003-6006.
4. Zuleta, M.; Björnbo, P.; Lundblad, A., Effects of pore surface oxidation on electrochemical and mass-transport properties of nanoporous carbon. *Journal of The Electrochemical Society* **2005**, 152, (2), A270-A276.
5. Babel, K.; Jurewicz, K., KOH activated carbon fabrics as supercapacitor material. *Journal of Physics and Chemistry of Solids* **2004**, 65, (2-3), 275-280.
6. Fellman, B. A.; Atieh, M.; Wang, E. N. In *Carbon-based electric double layer capacitors for water desalination*, ASME 2010 8th International Conference on Nanochannels, Microchannels, and Minichannels collocated with 3rd Joint US-European Fluids Engineering Summer Meeting, 2010; American Society of Mechanical Engineers: pp 275-279.
7. Aripin, H.; Lestari, L.; Ismail, D.; Sabchevski, S., Sago waste based activated carbon film as an electrode material for electric double layer capacitor. *Open Materials Science Journal* **2010**, 4, 117-124.
8. Kierzek, K.; Frackowiak, E.; Lota, G.; Gryglewicz, G.; Machnikowski, J., Electrochemical capacitors based on highly porous carbons prepared by KOH activation. *Electrochimica Acta* **2004**, 49, (4), 515-523.
9. Pari, G.; Sofyan, K.; Syafii, W.; Buchari, B., Pengaruh lama aktivasi terhadap struktur kimia dan mutu arang aktif serbuk gergaji sengon. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* **2005**, 23, (3), 207-218.
10. Ra, E.; Raymundo-Piñero, E.; Lee, Y.; Béguin, F., High power supercapacitors using polyacrylonitrile-based carbon nanofiber paper. *Carbon* **2009**, 47, (13), 2984-2992.
11. Liu, H.-Y.; Wang, K.-P.; Teng, H., A simplified preparation of mesoporous carbon and the examination of the carbon accessibility for electric double layer formation. *Carbon* **2005**, 43, (3), 559-566.
12. Yang, C.-C.; Hsu, S.-T.; Chien, W.-C., All solid-state electric double-layer capacitors based on alkaline polyvinyl alcohol polymer electrolytes. *Journal of power sources* **2005**, 152, 303-310.
13. Xing, W.; Qiao, S.; Ding, R.; Li, F.; Lu, G.; Yan, Z.; Cheng, H., Superior electric double layer capacitors using ordered mesoporous carbons. *Carbon* **2006**, 44, (2), 216-224.
14. Qu, D.; Shi, H., Studies of activated carbons used in double-layer capacitors. *Journal of Power Sources* **1998**, 74, (1), 99-107.
15. Wang, X.-F.; Ruan, D.-B.; Wang, D.-Z.; Liang, J., Hybrid electrochemical supercapacitors based on polyaniline and activated carbon electrodes. *Acta Physico-Chimica Sinica* **2005**, 21, (3), 261-266.