

PEMBUATAN ELEKTRODA KAPASITOR KARBON BERPORI DARI TEMPURUNG KEMIRI (*Aleurites moluccana*) SEBAGAI SISTEM CAPACITIVE DEIONIZATION

Melda Taspika, Astuti

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang - 25163
e-mail : meldataaspika@ymail.com

ABSTRAK

Karbon aktif dibuat dari tempurung kemiri (*Aleurites moluccana*) menggunakan H_3PO_4 2,5% sebagai aktivator dengan suhu aktivasi 300, 400, 500, dan 600 °C. Luas permukaan spesifik karbon yang dihasilkan masing-masing adalah 16,514; 6,582; 95,623; dan 391,567 m²/g. Daya elektrosorpsi meningkat dengan bertambahnya suhu aktivasi karena meningkatnya luas permukaan aktif. Karbon dengan suhu aktivasi 600 °C digunakan sebagai bahan dasar pembuatan elektroda kapasitor untuk sistem capacitive deionization (CDI) menggunakan polimer polyvinyl alcohol (PVA) sebagai pengikat. Data voltammogram siklik digunakan untuk menentukan besar kapasitansi spesifik elektroda kapasitor yang dibuat dari karbon dengan suhu aktivasi 300 °C dan 600 °C. Besar kapasitansi spesifik berturut-turut adalah 81,19 mF/g dan 50,21 mF/g. Sifat kapasitor diamati menggunakan osiloskop dengan memberikan tegangan input berupa sinyal persegi periodik 1,5 V dan dihasilkan tegangan output untuk elektroda dengan suhu aktivasi karbon 300 °C dan 600 °C masing-masing adalah 0,2 V dan 0,6 V dengan pola pengisian dan pengosongan kapasitor.

Kata kunci: karbon aktif, capacitive deionization, elektroda kapasitor, tempurung kemiri, H_3PO_4

ABSTRACT

Activated carbon was made from candlenut shell (*Aleurites moluccana*) by using H_3PO_4 2,5% as activating agent. All samples were heated at the temperatures of 300, 400, 500, and 600 °C. The results show that activated carbon has specific surface area 16.514; 6.582; 95.623; and 391.567 m²/g respectively. The higher the activation temperature, the higher the power of adsorption capacity since the surface area increases. Electrode capacitor for capacitive deionization (CDI) system was fabricated by using activated carbon that was heated at activation temperature of 600 °C with polyvinyl alcohol (PVA) as the binder. From cyclic voltammogram of electrode, specific capacitance of CDI electrode by using carbon that was heated at the temperatures of 300 °C and 600 °C are 81.19 mF/g and 50.21 mF/g respectively. Characteristics charge and discharge of capacitor was obtained by using oscilloscope. The signal input is square wave 1.5 V and output signal for carbon that was heated at temperatures of 300 °C and 600 °C are sinusoidal wave 0.2 V and 0.6 V.

Keywords: activated carbon, capacitive deionization, capacitor electrode, candlenut shell, H_3PO_4

I. PENDAHULUAN

Capacitive deionization merupakan proses desalinasi dengan cara mengalirkan larutan di antara dua elektroda karbon berpori. Kelebihan proses CDI dibandingkan dengan metode desalinasi lain adalah dapat dioperasikan pada tegangan DC yang rendah dan tidak membutuhkan bahan kimia dalam proses desalinasi (Wang, dkk., 2013). Untuk meningkatkan kemampuan desalinasi oleh proses CDI, maka kapasitansi elektroda harus ditingkatkan. Kapasitansi elektroda tergantung pada luas permukaan, struktur pori, dan distribusi pori. Sifat hidrofilik elektroda juga mempengaruhi daya elektrosorpsi karena berhubungan dengan luas kontak antara larutan dengan permukaan elektroda (Park, dkk., 2011).

Tempurung kemiri memiliki kadar karbon terikat sebesar 75,79% yang bisa dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif (Lempang, dkk., 2009). Untuk meningkatkan sifat hidrofilik elektroda karbon, maka digunakan polimer polyvinyl alcohol (PVA) sebagai binder. PVA memiliki stabilitas termal, sifat kimia yang baik, dan memiliki karakteristik membran yang bagus (Park, dkk., 2011).

II. METODE

2.1 Pembuatan Karbon Aktif

Karbon aktif dibuat dari tempurung kemiri yang dikarbonisasi dalam furnace pada suhu 500 °C dengan penahanan suhu selama 20 menit. Arang tempurung kemiri yang sudah dihaluskan dan diayak menggunakan standard test sieve 200 direndam dalam aktivator H₃PO₄ 2,5% selama 24 jam. Proses aktivasi dilakukan dengan variasi suhu (300, 400, 500, dan 600) °C. Kemudian karbon dicuci dengan aquades hingga mencapai pH netral dan dikeringkan pada suhu 120 °C.

2.2 Sintesis Elektroda CDI

Sebanyak 1 g PVA dilarutkan dalam 10 mL aquades dan diaduk pada suhu 40 °C selama 15 menit. Kemudian ditambahkan 1 g karbon aktif ke dalam larutan PVA dan diaduk selama 2 jam pada suhu 40 °C. Campuran yang sudah homogen dan berbentuk *gel* dilapisi pada permukaan grafit dengan metode *doctor blade*. Elektroda yang sudah siap dipanaskan menggunakan oven pada suhu 50 °C selama 1 jam. Elektroda CDI memiliki dimensi (6,13 x 2,33 x 0,14) cm dan massa 3,7 g. Elektroda yang sudah siap direndam dalam larutan KCl 0,5 M selama 24 jam.

2.3 Karakterisasi Fisika Karbon dan Elektroda Kapasitor

Karbon dan elektroda kapasitor dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM, JEOL-JSM-6510LV) untuk melihat morfologi permukaan dan struktur pori yang dimiliki karbon dan elektroda kapasitor. Karbon dikarakterisasi menggunakan *Surface Area Analyzer* (SAA, Quantachrome Instruments NOVA) untuk mengetahui luas permukaan aktif, ukuran pori rata-rata, volume pori total, dan distribusi pori adsorpsi-desorpsi karbon. Dari kurva isoterms adsorpsi-desorpsi karbon terhadap gas N₂ pada suhu 77,35 °K, dengan menggunakan metode BET dapat ditentukan luas permukaan aktif, ukuran pori rata-rata, dan volume pori total karbon.

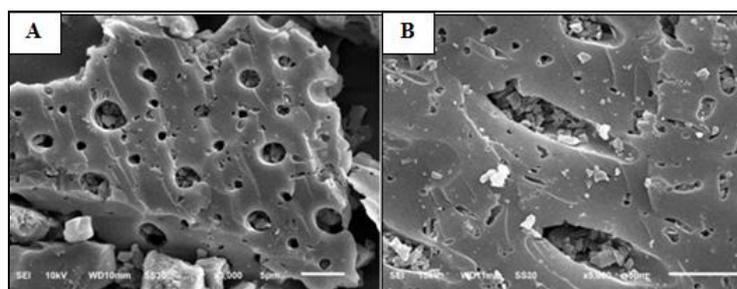
2.4 Analisis Elektrokimia Elektroda Kapasitor

Analisis elektrokimia elektroda kapasitor menggunakan *Cyclic Voltammetry* (CV) dengan program EChem v2.1.5. Digunakan KCl 0,5 M sebagai elektrolit. Rentang potensial diberikan dari -1 V sampai +1 V dengan potensial *sweep rate* 5 mV/s.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Morfologi Karbon dan Elektroda Kapasitor

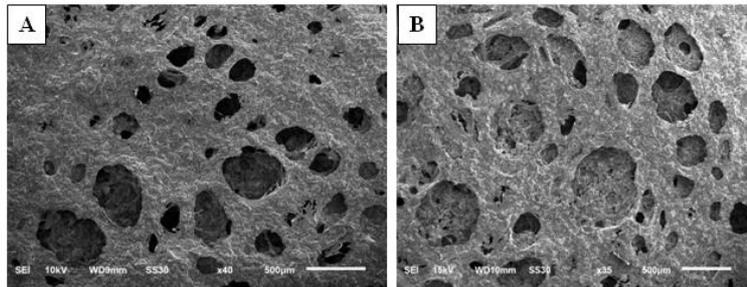
Gambar 1 adalah foto morfologi permukaan karbon yang diaktivasi pada suhu 400 °C dan 600 °C. Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa peningkatan suhu aktivasi karbon menyebabkan ukuran pori karbon yang dihasilkan lebih kecil karena partikel karbon terpecah menjadi bagian yang lebih kecil. Peningkatan suhu aktivasi menyebabkan gerakan partikel lebih cepat sehingga menghasilkan tumbukan antar partikel yang lebih besar. Tumbukan antar partikel ini menyebabkan partikel karbon terpecah menjadi bagian yang lebih kecil.



Gambar 1 Foto SEM karbon dengan suhu aktivasi (A) 400 °C dan (B) 600 °C

Gambar 2 merupakan foto SEM elektroda kapasitor dengan suhu aktivasi 300 °C dan 600 °C. Pori pada permukaan elektroda berfungsi untuk mengadsorpsi ion oleh EDL pada

permukaan elektroda ketika elektroda diberi potensial listrik. Ikatan yang terbentuk antara karbon dengan PVA membentuk jaringan dengan struktur yang kompak. PVA berfungsi sebagai binder sehingga karbon tidak larut dalam air ketika digunakan untuk desalinasi.



Gambar 2 Foto SEM elektroda kapasitor dengan suhu aktivasi (A) 300 °C dan (B) 600 °C

3.2 Luas Permukaan Aktif dan Distribusi Pori Karbon

Salah satu metode yang digunakan untuk menentukan luas permukaan aktif karbon adalah metode BET. Persamaan 1 menerangkan keadaan molekul gas N₂ yang teradsorpsi pada permukaan karbon sehingga luas permukaan aktif karbon dapat ditentukan menggunakan Persamaan 2 (Abdullah, 2008).

$$\frac{1}{v[(P_0/P)-1]} = \frac{c-1}{v_m c} \left(\frac{P}{P_0}\right) + \frac{1}{v_m c} \tag{1}$$

$$S_{tot} = \frac{v_m N s}{V} \tag{2}$$

dengan v adalah jumlah adsorpsi dalam volume STP (cm³/g), P_0/P adalah tekanan relatif, c adalah energi adsorpsi rata-rata, v_m adalah kapasitas monolayer dalam volume STP (cm³/g), S_{tot} adalah luas permukaan aktif (m²/g), N adalah bilangan Avogadro, s adalah besar penampang lintang molekul gas N₂, dan V adalah volum molar gas N₂.

Luas permukaan aktif karbon ditampilkan pada Tabel 1. Semakin tinggi suhu aktivasi karbon maka luas permukaan karbon cenderung meningkat, kecuali pada suhu aktivasi 400 °C. Suhu aktivasi yang lebih tinggi menghasilkan energi yang lebih tinggi untuk menguapkan aktivator yang menutupi pori-pori karbon sehingga luas permukaan menjadi lebih besar. Luas permukaan karbon dengan suhu aktivasi 300 °C lebih besar dibandingkan karbon dengan suhu aktivasi 400 °C karena proses pemanasan karbon dengan suhu 300 °C lebih lama sehingga jumlah aktivator yang menguap lebih banyak. Karbon aktif adalah karbon dengan luas permukaan aktif berkisar antara (300-2.500) m²/g yang berhubungan dengan struktur pori internal karbon aktif (Campbell dkk., 2012). Hanya karbon dengan suhu aktivasi 600 °C yang termasuk karbon aktif.

Tabel 1 Karakteristik karbon dari tempurung kemiri

Suhu aktivasi (°C)	Luas permukaan (m ² /g)
300	16,514
400	6,582
500	95,623
600	391,567

Ukuran pori rata-rata karbon dengan suhu aktivasi yang berbeda ditampilkan pada Tabel 2. Ukuran pori dihitung dengan metode *t-method BJH/DH* dan *method adsorbate*. Menurut klasifikasi pori menurut organisasi kimia internasional, *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC), pori yang dihasilkan adalah mikropori yang memiliki ukuran pori < 2 nm. Mikropori berpengaruh terhadap daya tarik-menarik adsorben dan adsorbat yang berhubungan dengan gaya tumpang-tindih dari pori yang berlawanan (Pandolfo dan Hollenkamp, 2006). Jenis pori yang bagus untuk proses desalinasi dengan sistem CDI adalah

mesopori karena bisa mengurangi pengaruh *overlapping electric double layer* (EDL) pada elektroda kapasitor dan meningkatkan kemampuan elektrosorpsi elektroda (Wang dkk., 2013). Semakin tinggi suhu aktivasi maka semakin kecil ukuran pori rata-rata karena energi tumbukan antar partikel semakin besar dengan meningkatnya suhu aktivasi.

Tabel 2 Ukuran pori rata-rata karbon

Suhu aktivasi (°C)	Ukuran pori rata-rata (nm)
300	1,601
400	1,505
500	0,843
600	0,731

Volume pori total setiap karbon ditampilkan pada Tabel 3. Selain ukuran dan volume pori, struktur pori menjadi faktor utama yang mempengaruhi daya adsorpsi dan desorpsi karbon. Meskipun volume pori total besar, tapi jika ukuran pori tidak seragam maka proses adsorpsi juga tidak maksimal. Ini menyebabkan histeresis kurva isoteremis yang besar sebagai akibat dari berbedanya pori yang melakukan adsorpsi dan pori yang melakukan desorpsi sehingga terjadi tumpang tindih ion pada permukaan karbon.

Tabel 3 Volume pori total karbon

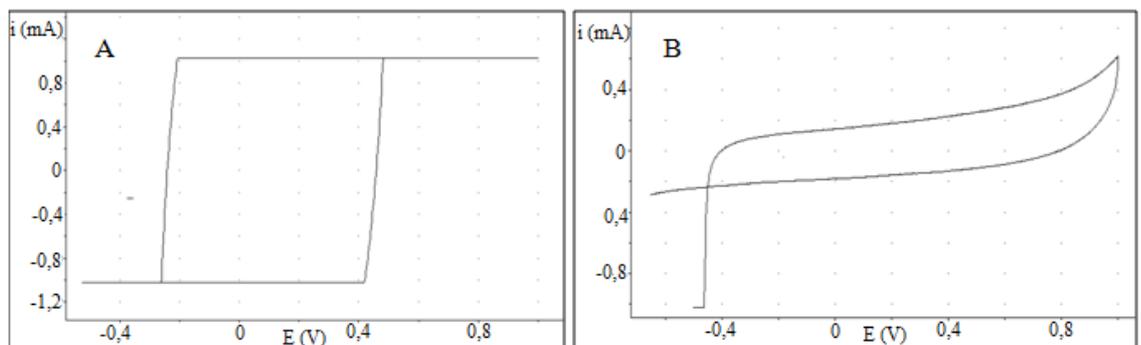
Suhu aktivasi (°C)	Volume pori total (cm ³ /g)
300	4,198
400	20,122
500	15,753
600	5,173

3.3 Analisis Elektrokimia Elektroda Kapasitor

Gambar 3 adalah voltammogram siklik elektroda dengan suhu aktivasi karbon 300 °C dan 600 °C. Dari voltammogram siklik elektroda kapasitor, besar kapasitansi elektroda dapat ditentukan menggunakan Persamaan 3 (Tipler, 2001).

$$C = \frac{It}{V} \tag{3}$$

dengan C adalah kapasitansi (F), I adalah arus puncak yang terukur (A), t adalah waktu (s), dan V adalah potensial (V). Besar kapasitansi spesifik elektroda kapasitor diperoleh dengan membagi kapasitansi dengan massa elektroda kapasitor. Berdasarkan data voltammogram siklik, diketahui besar arus puncak elektroda dengan suhu aktivasi 300 °C dan 600 °C adalah 1,0240 mA dan 0,6192 mA pada tegangan masing-masing adalah 0,9980 V dan 1 V setelah proses elektroadsorpsi berlangsung selama 300 sekon. Besar kapasitansi elektroda dengan suhu aktivasi 300 °C dan 600 °C adalah 307,8156 mF dan 185,7900 mF. Sedangkan besar kapasitansi spesifik elektroda dengan suhu aktivasi karbon 300 °C dan 600 °C adalah 83,193 mF/g dan 50,21 mF/g.



Gambar 3 Voltammogram siklik elektroda dengan suhu aktivasi (A) 300 °C dan (B) 600 °C

Overlapping EDL mempengaruhi kemampuan elektrosorpsi elektroda. Pada adsorpsi fisika tanpa adanya medan listrik luar, kemampuan adsorpsi hanya dipengaruhi oleh luas permukaan aktif. Semakin besar luas permukaan aktif karbon, maka semakin besar kemampuan adsorpsi. Ketika elektroda CDI diberikan medan listrik, luas permukaan aktif yang lebih besar menyebabkan pengaruh *overlapping* EDL menjadi lebih kuat sehingga ion-ion yang mengalami elektroadsorpsi pada EDL menjadi lebih sedikit. Hal ini menyebabkan kemampuan desalinasi menjadi menurun. *Overlapping* EDL menyebabkan kapasitansi elektroda dengan suhu aktivasi karbon 600 °C lebih kecil daripada elektroda dengan suhu aktivasi karbon 300 °C karena luas permukaan elektroda dengan suhu aktivasi karbon 600 °C lebih besar yang menyebabkan efek *overlapping* juga lebih besar.

IV. KESIMPULAN

Luas permukaan aktif karbon yang dihasilkan cenderung meningkat dengan meningkatnya suhu aktivasi karbon. Karbon yang diaktivasi pada suhu aktivasi 600 °C memiliki luas permukaan aktif yang lebih besar dari karbon yang diaktivasi pada suhu (300, 400, dan 500) °C. Luas permukaan aktif karbon yang diaktivasi pada suhu 600 °C adalah 391,567 m²/g. Pori yang dihasilkan adalah mikropori yang memiliki diameter kecil dari 2 nm. Elektroda yang dibuat dengan bahan dasar karbon aktif dari tempurung kemiri sudah bersifat sebagai kapasitor yang memiliki pola sinyal pengisian dan pengosongan. Besar kapasitansi spesifik elektroda kapasitor dengan bahan dasar karbon yang diaktivasi pada suhu 300 °C dan 600 °C masing-masing adalah 81,19 mF/g dan 50,21 mF/g. Berdasarkan pola sinyal pengisian dan pengosongan elektroda serta data voltammogram siklik dapat disimpulkan bahwa tempurung kemiri dapat digunakan sebagai bahan dasar elektroda kapasitor yang dapat diaplikasikan sebagai sistem CDI.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., 2008, *Pengantar Nanosains*, Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung.
- Campbell, Q.P., Bunt, J.R., Kasaini, H., Kruger, D.J., 2012, The Preparation Of Activated Carbon From South African Coal, *The Journal Of The Southern African Institute Of Mining and Metallurgy*, Vol. 112, Hal 37-44.
- Lempang, M., Syafii, W., dan Pari, G., 2009, Sifat dan Mutu Arang Aktif Tempurung Kemiri, *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, Vol. 30, No. 2, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Hasil Hutan Bogor, hal 100-113.
- Lim, J., Park, N., Park, J., dan Choi, J., 2009, Fabrication and Characterization of A Porous Carbon Electrode for Desalination of Brackish Water, *Desalination*, Vol. 238, Elsevier, hal 37-42.
- Pandolfo, A.G. dan Hollenkamp, A.F., 2006, Carbon Properties and Their Role in Supercapacitors, *Journal Of Power Sources*, Vol. 157, Elsevier, hal 11-27.
- Park, B., Kim, Y., Park, J., dan Choi, J., 2011, Capacitive Deionization Using A carbon Electrode Prepared With Water-Soluble Poly (Vinyl Alcohol) Binder, *Journal Of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 17, Elsevier, hal 717-722.
- Tipler, P.A., 2001, *Fisika Untuk Sains dan Teknik*, Jilid 2, Edisi Ketiga, (diterjemahkan oleh : Soegijono, B.), Erlangga, Jakarta.
- Wang, G., Qian, B., Dong, Q., Yang, J., Zhao, Z., dan Qiu, J., 2013, Highly Mesoporous Activated Carbon Electrode for Capacitive Deionization, *Separation and Purification Technology*, Vol. 103, Elsevier, hal 216-221.