

PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI SEL SUPERKAPASITOR MENGUNAKAN KARBON AKTIF MONOLIT DARI KAYU KARET BERDASARKAN VARIASI KONSENTRASI HNO₃

Eko Nur Arif*, Erman Taer, Rakhmawati Farma
Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau
Kampus Bina Widya Pekanbaru, 28293, Indonesia
*eko_arif90@yahoo.co.id

ABSTRACT

Synthesis of carbon electrode from rubber wood was started by carbonizing process by adding N₂ gas at a temperature of 600 °C and continued by utilizing physical activation of CO₂ gas at 850 °C for 2 hours, and followed by a combination process of chemical activation using potassium hydroxide activator and nitric acid (HNO₃) with its concentration of 5%, 15% and 25%. Density of resulted electrodes was 0.407 g/cm³, 0.359 g/cm³ and 0.349 g/cm³ for each sample. X-ray diffraction analysis showed amorphous carbon electrodes in the presence of ramps at 2θ of 25.25° and 44.21°. The results of cyclic voltametry obtained specific capacitance of 10.444 F/g, 70.1969 F/g and 81.8234 F/g, respectively for each HNO₃ concentration. It was concluded that the addition of HNO₃ to the activation proces can improve the performance of supercapacitors cell. The highest specific capacitance obtained 81.823 F/g for the 25% HNO₃.

Keywords: supercapacitors, rubber wood, HNO₃

ABSTRAK

Pembuatan elektroda karbon kayu karet diawali dengan proses karbonisasi dengan menambahkan gas N₂ pada suhu 600 °C dan dilanjutkan dengan aktivasi fisika menggunakan gas CO₂ pada suhu 850 °C selama 2 jam. Selanjutnya diteruskan dengan kombinasi aktivasi kimia menggunakan aktivator potasium hidroksida dan asam nitrat (HNO₃), dengan konsentrasi 5%, 15% dan 25%. Nilai densitas dari elektroda yang terbentuk adalah 0,407 g/cm³, 0,359 g/cm³ dan 0,349 g/cm³ untuk masing-masing konsentrasi. Hasil analisis difraksi sinar-X menunjukkan elektroda karbon bersifat amorf dengan kehadiran puncak landai pada sudut 2θ: 25,25° dan 44,21°. Hasil pengujian *Cyclic voltametry* menunjukkan bahwa nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan sebesar 10,444 F/g, 70,197 F/g dan 81,823 F/g, berurut-turut untuk konsentrasi HNO₃ 5%, 15%, 25%. Secara keseluruhan hasil pengukuran dan analisa yang diperoleh menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi aktivasi HNO₃ dapat meningkatkan prestasi kapasitansi sel superkapasitor. Nilai kapasitansi spesifik tertinggi diperoleh sebesar 81,823 F/g untuk sampel dengan kosentrasi HNO₃ 25%.

Kata kunci: superkapasitor kayu karet, HNO₃

PENDAHULUAN

Superkapasitor merupakan salah satu alat penyimpan energi listrik. Superkapasitor memiliki beberapa keunggulan dalam proses penyimpanan energi dibandingkan dengan kapasitor konvensional, diantaranya adalah waktu hidup yang lebih lama, prinsip kerja dan modelnya yang sederhana, waktu *recharge* yang pendek serta aman dalam penggunaannya (Kötz et al, 2000). Superkapasitor terdiri dari elektroda, elektrolit, pemisah (separator) dan pengumpul arus. Bahan yang dapat digunakan sebagai elektroda untuk superkapasitor karbon salah satunya adalah material organik. Material organik dengan kandungan yang tinggi adalah bahan yang baik untuk menghasilkan elektroda. Bahan organik yang memiliki kandungan karbon tinggi antara lain terdapat dalam kayu karet.

Berdasarkan hasil penelitian dari FAO (*Food and Agricultural Organization*) kayu karet merupakan kayu yang memiliki kandungan karbon yang sangat baik sebagai bahan untuk membuat karbon aktif, dimana kadar karbon yang dimiliki sekitar 79% dan zat bukan karbon 21%. Karbon aktif dari kayu karet dapat diproduksi sebagai elektroda superkapasitor melalui proses karbonisasi dan aktivasi. Proses karbonisasi kayu karet menggunakan gas N_2 , sedangkan pengaktifan menggunakan larutan kimia yaitu asam nitrat HNO_3 . HNO_3 difungsikan sebagai pembentuk pori-pori pada elektroda karbon untuk meningkatkan nilai kapasitansi spesifik superkapasitor (Wu et al, 2004). Aktivasi menggunakan HNO_3 bertujuan untuk meningkatkan lagi sifat pori elektroda yang akhirnya dapat meningkatkan nilai kapasitansi spesifik.

Superkapasitor yang baik adalah superkapasitor yang memiliki elektroda dengan penyerapan yang tinggi untuk menghasilkan kapasitansi spesifik yang besar, pembuatan elektroda karbon kayu karet dengan cara pemotongan melintang diharapkan mampu menghasilkan superkapasitor dengan kapasitansi spesifik yang lebih besar karena pada kayu karet sudah banyak memiliki struktur pori makro yang terbentuk secara alami. Perendaman dengan HNO_3 juga diharapkan mampu memperbanyak pori mikro dan meso pada elektroda karbon dari kayu karet, semakin banyak pori yang terbentuk maka luas permukaannya semakin tinggi. Luas permukaan yang tinggi dapat meningkatkan nilai kapasitansi spesifik elektroda karbon (Namisnyk, 2003).

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen, dimana elektroda karbon dibuat menggunakan bahan baku dari kayu karet yang di karbonisasi menggunakan gas N_2 pada suhu $600\text{ }^{\circ}C$, diaktivasi secara fisika dengan menggunakan gas CO_2 dan aktivasi kimia menggunakan KOH dan HNO_3 serta dikarakterisasi dengan metode SEM, X-RD dan CV.

Bahan pokok yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu karet. Kayu karet digunakan adalah batang karet yang sudah tidak produktif. Kayu karet dipotong secara melintang dengan ketebalan 3 cm. Kayu Karet yang sudah dipotong kemudian dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu $120\text{ }^{\circ}C$ sampai massanya menjadi konstan dan tidak berkurang lagi.

Kayu karet yang sudah kering kemudian dicetak menggunakan cetakan dengan diameter 20 mm, selanjutnya

kayu karet dan cetakan diletakkan dibawah *Pump Hydroulic* kemudian diberikan tekanan sampai kayu karet terpotong oleh cetakan dan terlepas dari bagian kayu karet yang lainnya.

Elektroda sel superkapasitor disiapkan dengan proses karbonisasi serta pengaktifan secara fisika dan kimia. Proses karbonisasi dilakukan dengan gas N₂ pada suhu 600 °C, aktivasi secara fisika menggunakan gas CO₂ pada suhu 850 °C selanjutnya dilakukan aktivasi kimia dengan menggunakan HNO₃ bervariasi. aktivasi adalah untuk meningkatkan struktur pori guna memperbesar luas permukaan elektroda karbon.

Sel superkapasitor dibuat dengan permukaannya berbentuk lingkaran dengan susunan komponen utama terdiri dari pengumpul arus, dua buah elektroda karbon, separator, dan Elektrolit. Sebelum elektroda digunakan, terlebih dahulu elektroda direndam dalam larutan 1M H₂SO₄ selama 48 jam dengan tujuan supaya elektrolit masuk

kedalam pori elektroda karbon secara keseluruhan. Elektroda karbon dan sel superkapasitor kemudian dikarakterisasi secara fisis dan elektrokimia dengan metode pengukuran densitas, SEM dan CV.

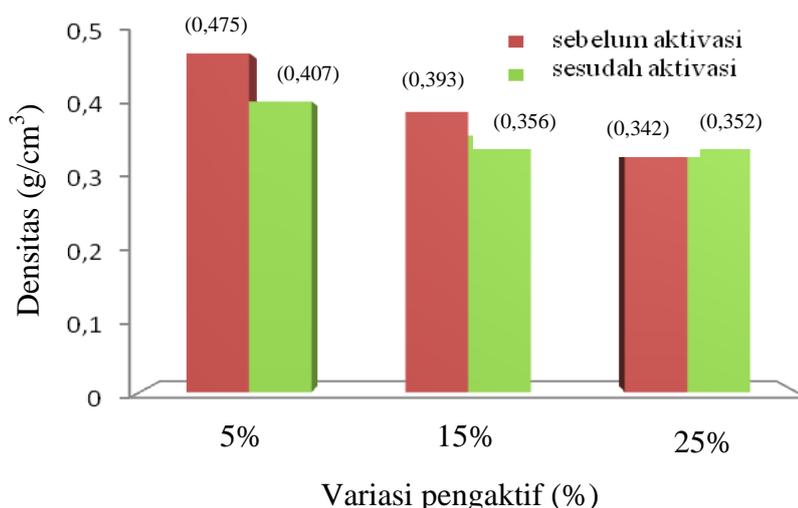
HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pengukuran Sifat Fisis

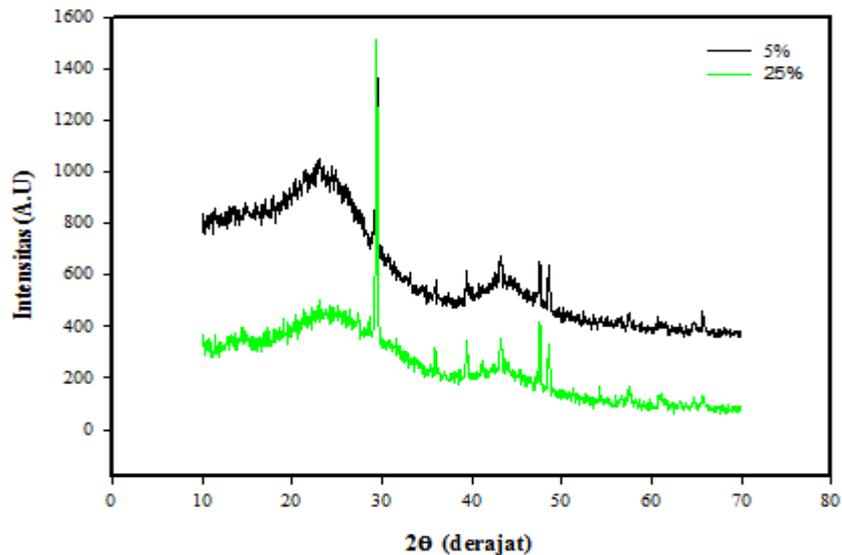
Sampel yang dibuat kemudian dikarakterisasi sifat fisisnya dengan menghitung densitas, melihat tampilan morfologi tampang lintang serta derajat kristalinitas, sedangkan pengukuran sifat elektrokimia seperti nilai kapasitansi spesifik, energi spesifik dan daya spesifik menggunakan CV.

Densitas berkaitan dengan pembentukan struktur pori dan tahanan yang dihasilkan pada saat pengukuran elektrokimia pada sel superkapasitor. Besarnya densitas dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

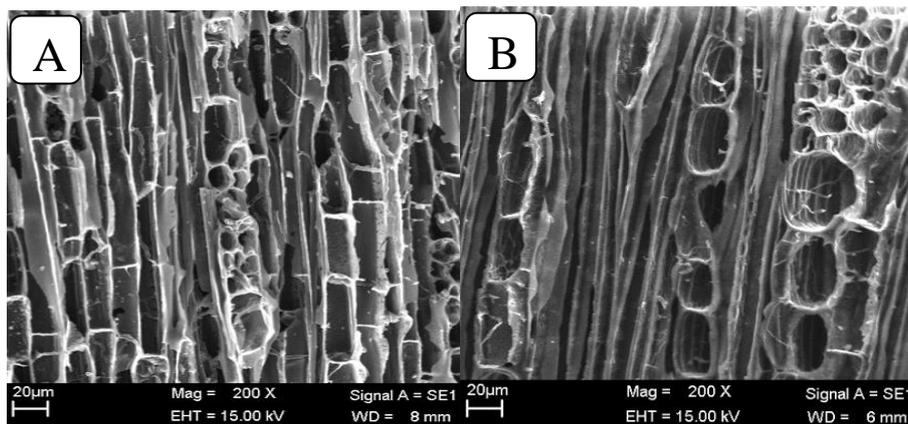
$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$



Gambar 1. Grafik densitas untuk variasi konsentrasi pengaktif



Gambar 2. Pola XRD karbon aktif dari kayu karet berdasarkan beda variasi konsentrasi HNO_3



Gambar 3. SEM mikrograf pada patahan elektroda karbon (A) aktivasi 5% HNO_3 pada perbesaran 200 X, (B) aktivasi 25% HNO_3 pada perbesaran 200X .

Densitas elektroda karbon sebelum aktivasi dan sesudah aktivasi dengan 3M KOH dan variasi konsentrasi HNO_3 dapat dilihat pada Gambar 1. Gambar 1 menunjukkan bahwa nilai densitas masing-masing elektroda karbon mengalami pengurangan setelah aktivasi. Perbandingan densitas elektroda karbon kayu karet sebelum dan setelah aktivasi

dengan 3M KOH dan variasi konsentrasi HNO_3 adalah sebesar $0,475 \text{ g/cm}^3$; $0,407 \text{ g/cm}^3$, $0,393 \text{ g/cm}^3$; $0,359 \text{ g/cm}^3$, $0,352 \text{ g/cm}^3$; $0,349 \text{ g/cm}^3$, masing-masing untuk variasi konsentrasi HNO_3 5%, 15% dan 25%. Pengurangan densitas pada elektroda karbon disebabkan karena terjadinya penambahan struktur pori yang

diakibatkan oleh kombinasi aktivasi KOH dan variasi konsentrasi HNO₃ yang diberikan pada elektroda karbon.

Elektroda karbon dikarakterisasi dengan difraksi sinar-X (XRD) diperoleh pola difraksi sudut 2θ pada interval 10° hingga 70°. Pola XRD elektroda karbon kayu karet ditampilkan pada Gambar 2. Gambar 2 menunjukkan difraktogram untuk setiap elektroda terdapat dua puncak landai dan melebar. Puncak pertama berada pada sudut 2θ sebesar 25,25° dan puncak kedua berada pada 44,21° yang memiliki nilai hkl (002) dan (100) dengan struktur karbon amorf. Pada Gambar 2 juga terlihat adanya puncak yang tajam yaitu pada sudut 2θ sebesar 29,50°, 36,01°, 39,41°, 43,21°, 47,51° dan 48,57°. Puncak-puncak ini disebabkan karena adanya unsur lain seperti silika (SiO₂) dalam elektroda karbon (Taer et al, 2011).

Gambar 3 menunjukkan hasil SEM dari patahan elektroda karbon dengan variasi konsentrasi HNO₃ 5% dan 25% dengan perbesaran 200 X. Gambar 3 A menunjukkan hasil SEM untuk sampel elektroda karbon yang diaktivasi dengan 3M KOH dan HNO₃ 5%, Gambar 3 B menunjukkan hasil SEM untuk elektroda karbon dengan aktivasi KOH dan HNO₃ 25%. Berdasarkan Gambar 3 A dan 3 B dapat dilihat perbedaan struktur pori makro yang ada pada elektroda karbon, dimana struktur pori memanjang menyerupai pipa saluran yang berskala (±10 μm). Gambar 3 B terlihat bahwa struktur pori yang terbentuk lebih rapi dan tampak lebih bersih tanpa ada penyekat dibandingkan dengan Gambar 3 A. Hal ini diharapkan dapat mempermudah jalannya ion-ion H₂SO₄ yang digunakan sebagai elektrolit pada sel superkapasitor.

b. Pengukuran Sifat Elektrokimia

Pengukuran kurva *Cyclic voltametry* (CV) dilakukan dalam sistem elektrokimia menggunakan tegangan siklis berupa gelombang segitiga dengan *laju scan* dan jangkauan tegangan yang diatur melalui generator fungsi. Pengukuran *Cyclic voltametry* dilakukan pada potensial antara 0 sampai 1V terhadap elektroda referensi untuk menguji karakteristik elektrokimia dari elektroda-elektroda karbon (Kalpana et al, 2009). Kapasitansi spesifik (F/g) dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$C_{sp} = \frac{2 [(I_c - (-I_d)) \Delta V]}{s \times m} \quad (2)$$

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa luas kurva dengan konsentrasi HNO₃ 25% lebih besar dibandingkan konsentrasi HNO₃ 5% dan 15%. Semakin meningkatnya konsentrasi HNO₃ yang diberikan pada proses pengaktifan akan menyebabkan peningkatan sifat porositas. Porositas elektroda superkapasitor akan seiring dengan jumlah penambahan pasangan ion dan elektron pada sel superkapasitor.

Konsentrasi HNO₃ yang lebih tinggi akan menghasilkan luas daerah arus *charge* dan *discharge* CV semakin besar, semakin besar luas kurva yang terbentuk maka semakin besar nilai kapasitansi spesifik (Farma et al, 2013). Penambahan sifat porositas ini bisa diamati pada gambar SEM *micrograf* (Gambar 3). Nilai kapasitansi spesifik sel superkapasitor diperoleh sebesar 10,444 F/g, 70,197 F/g dan 81,823 F/g untuk masing-masing variasi konsentrasi HNO₃. Peningkatan nilai kapasitansi spesifik sel superkapasitor disebabkan

Gambar 4. Kurva CV sel superkapasitor dengan konsentrasi HNO₃ 5%, 15% dan 25% pada lajusan 1 mV/s

karena adanya perubahan bentuk struktur pori elektroda karbon yang disebabkan oleh proses aktivasi kimia menggunakan variasi konsentrasi HNO₃.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan mengenai pembuatan elektroda karbon sel superkapasitor dengan bahan baku kayu karet menggunakan aktivasi fisika (gas CO₂) dan aktivasi kimia (KOH dan HNO₃) mampu meningkatkan prestasi kapasitansi sel superkapasitor.

Karakterisasi sifat elektrokimia sel superkapasitor dengan menggunakan CV menunjukkan nilai kapasitansi spesifik dengan penambahan molaritas HNO₃ mampu meningkatkan nilai kapasitansi spesifik sel superkapasitor. Nilai kapasitansi spesifik tertinggi diperoleh sebesar 81,823 F/g untuk konsentrasi 25% HNO₃.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada DP2M DIKTI yang telah memberikan dukungan dalam penelitian ini melalui *project* 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.

DAFTAR PUSTAKA

Farma, R., Deraman, M., Awitdrus, A., Talib, I.A., Taer, E., Basri, N.H., Manjunatha, J.G., Ishak, M.M., Dollah B.N.M. and Hashmi. S.A. 2013. Preparation of highly porous binderless activated carbon electrodes from fibers of oil palm empty fruit bunches for application in supercapacitor. *Bioresource Technology* 132 : 254-261.

- Kalpna, D., Cho, S.H., Lee, S.B., Lee, Y.S., Misra, and Renganathan, R, N.G. 2009. Recycled waste paper- A new source of raw material for electrical double layer. *Journal of Power Source* 190: 587-591.
- Kötz, R., and Carlen, M. 2000. Principles and applications of electrochemical capacitors. *Electrochimica Acta* 45(15-16): 2483-2498.
- Namisnyk, A. M. 2003. A Survey of Electrochemical Superkapasitor Technology. Faculty of Engineering, University of Technology, Sydney.
- Taer, E., Deraman, M., Thalib, I.A., Awidrus, 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 Supercapacitors. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 6:3301 – 3315.
- Wu, F. C., Tseng, R. L., Hu, C. C. and Wang, C. C. 2004. Physical and electrochemical characterization of activated carbons prepared from fir woods for supercapacitors. *J Power Sources*; 138:351-359.