

DOI: doi.org/10.21009/SPEKTRA.011.06

ANALISA KAPASITANSI SPESIFIK ELEKTRODA KARBON SUPERKAPASITOR dari KAYU KARET terhadap LAJU SCAN BERDASARKAN VARIASI AKTIVASI HNO₃

E. Taer^{1,a)}, Zulkifli^{1,b)}, E. N. Arif¹, R. Taslim²

¹Jurusan fisika, Universitas riau, Simpang baru, Pekanbaru, 28293

²Jurusan Teknik Industri, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim, Pekanbaru, 28293

Email: ^{a)}erman_taer@yahoo.com, ^{b)}izul_jundi@yahoo.co.id

Abstrak

Variasi kapasitansi spesifik elektroda karbon superkapasitor dari kayu karet terhadap laju scan telah berhasil dianalisa. Pembuatan elektroda karbon meliputi proses pemotongan, pengeringan, karbonisasi, aktivasi, pemolesan dan penetralan. Aktivasi dilakukan secara bertingkat meliputi aktivasi fisika dan kimia. Aktivasi fisika dilakukan menggunakan gas CO₂ pada suhu 850 °C selama 2 jam. Sedangkan aktivasi kimia dilakukan dua tahap yaitu dengan 3M KOH kemudian diteruskan dengan aktivasi HNO₃ menggunakan variasi konsentrasi sebesar 5%, 15% dan 25%. Pengukuran sel superkapasitor dilakukan dengan metode siklis voltametri pada laju scan 1 – 100 mV/s dalam larutan elektrolit 1M H₂SO₄. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kapasitansi spesifik mengalami penurunan secara eksponensial seiring dengan penambahan laju scan. Laju scan 1 mV/s menghasilkan kapasitansi spesifik tertinggi dan terendah sebesar 81,82 F g⁻¹ dan 10,44 F g⁻¹, sedangkan pada laju scan 100 mV/s menghasilkan kapasitansi spesifik tertinggi dan terendah sebesar 19,67 F g⁻¹ dan 4,66 F g⁻¹, masing-masing untuk variasi HNO₃ sebesar 25% dan 5%. Hasil pengujian SEM memperlihatkan elektroda karbon memiliki struktur pori yang seragam dan pengujian ED-X menunjukkan persentase unsur karbon tertinggi sebesar 92,53% terdapat pada sampel dengan variasi HNO₃ 25%.

Kata-kata kunci: Supercapacitor, Kapasitansi Spesifik, Laju Scan

Abstract

Specific capacitance variation of carbon electrode supercapacitor from rubber wood against scan rate have been successfully analyzed. Fabrication of carbon electrode includes cutting, drying carbonization, activation, polishing and neutralization. Activation was carried out in multi-step process covering the physical and chemical activation. Physical activation was performed by using CO₂ gas at a temperature of 850 °C for 2 hour, while the chemical activation process was done by combination of 3M KOH and HNO₃ using a variation of concentrations as high as 5%, 15% and 25%. Supercapacitor cell measurements was performed using a cyclic voltammetry method at a scan rate of 1 - 100 mV/s in electrolyte solution of 1M H₂SO₄. The results showed that specific capacitance value decreased with exponentially in the increasing of a scan rate. The highest of specific capacitance values of 81.82 F g⁻¹ and 10.44 F g⁻¹ at a scan rate of 1 mV/s, while at the scan rate of 100 mV/s found the lowest of 19.67 F g⁻¹ and 4.66 F g⁻¹ for HNO₃ variation of 25% and 5%, respectively. The SEM data showed that the carbon electrode have a hierarchical pore structure and the ED-X result found that highest percentage of carbon element as high as 92.53% at sample with a variation of 25% HNO₃.

Keywords: Supercapacitor, Spesific Capacitance, Scan Rate

1. PENDAHULUAN

Kapasitansi spesifik (C_{sp}) didefinisikan sebagai kemampuan sel superkapasitor menyimpan muatan terhadap rasio massa elektroda karbon yang dinyatakan dengan satuan $F\ g^{-1}$ [1]. Kapasitansi spesifik sangat berpengaruh dalam menentukan kinerja superkapasitor. Salah satu cara pengukuran kapasitansi spesifik dapat dilakukan dengan metode siklik voltametri (CV). Pengukuran dengan metode CV dilakukan dengan jendela potensial dalam range potensial tertentu. Respon pemberian tegangan yang dihasilkan oleh sebuah sel superkapasitor adalah berupa nilai rapat arus, dimana nilai arus ditentukan oleh pergerakan ion-ion didalam sebuah pori elektroda dalam membentuk lapisan pasangan muatan. Kenaikan potensial dalam tiap selang waktu tertentu dikenal dengan istilah laju scan atau laju imbasan. Semakin tinggi laju imbasan akan menyebabkan semakin sedikit kesempatan ion untuk masuk dengan sempurna kedalam pori-pori elektroda, sehingga akan semakin rendah respon arus yang dihasilkan. Akhirnya akan mengurangkan nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan. Kapasitansi spesifik ditulis dengan rumus $C_{sp} = I/sxm$ [2]

Faktor lain yang juga sangat berpengaruh dalam proses peresapan ion kedalam pori adalah bentuk dan ukuran pori elektroda, semakin besar pori akan semakin mudah proses penyerapan ion terjadi. Pada penelitian ini ditunjukkan hubungan pori elektroda dengan laju scan terhadap nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan. Pori elektroda dirancang teratur dalam ukuran makropori dan pada dinding-dinding pori mikro diperkaya dengan pori meso dan mikro melalui fase aktivasi fisika dan kimia.

2. METODE PENELITIAN

Fabrikasi elektroda karbon dari kayu karet dimulai dengan proses pemotongan, pengeringan, karbonisasi menggunakan gas N_2 pada suhu $600\ ^\circ C$, aktivasi fisika dengan gas CO_2 pada suhu $850\ ^\circ C$, pemolesan dan aktivasi kimia menggunakan KOH dengan konsentrasi 3M dan HNO_3 dengan variasi konsentrasi 5%, 15%, 25%. Sel superkapasitor dibentuk dengan sistem dua elektroda seperti yang telah kami laporkan sebelumnya [3]. Pengukuran sel superkapasitor dilakukan dengan laju scan bervariasi yaitu 1 mV/s, 5 mV/s, 10 mV/s, 30 mV/s, 50 mV/s dan 100 mV/s. Nilai kapasitansi spesifik superkapasitor dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [4] :

$$C_{sp} = \frac{I_c - I_d}{s \times m} \quad (1)$$

Dimana: C_{sp} = kapasitansi spesifik ($F\ g^{-1}$)

I_c = arus charge (A)

I_d = arus discharge (A)

s = laju scan (mV/s)

m = massa rata-rata (g)

Karakterisasi sifat fisis untuk meninjau struktur morfologi dan unsur penyusun elektroda karbon dilakukan dengan alat mikroskop pemindai elektron dan energi dispersi sinar-X.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran sel superkapasitor dengan laju scan yang berbeda telah berhasil dilakukan. Secara umum grafik V vs I memiliki bentuk yang sama pada semua variasi laju scan. Kapasitansi spesifik terbesar didapatkan pada laju scan 1 mV/s pada setiap variasi HNO_3 .

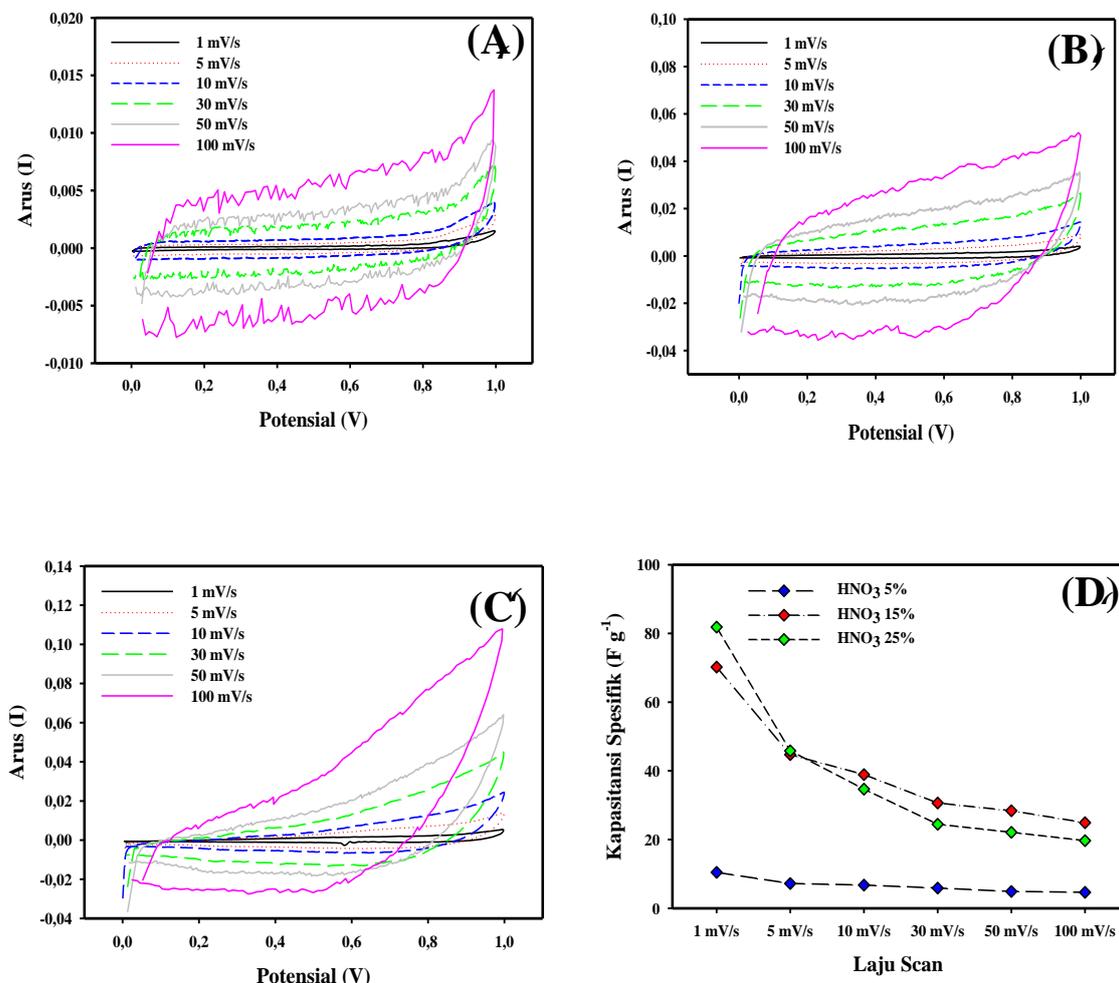
Gambar 1 menjelaskan hasil karakterisasi menggunakan siklus voltametri dalam rentang laju scan 1 sampai 100 mV/s. Secara umum hasil yang terbentuk pada Gambar 1(A), 1(B) dan 1(C) menghasilkan bentuk histeresis yang sama.

Gambar 1 (A) memperlihatkan arus yang tinggi pada potensial mendekati 1 V. Hal ini mengindikasikan variasi HNO_3 5% memiliki nilai kapasitansi spesifik yang rendah dan kenyataan ini didukung oleh daerah arus charge dan discharge yang relatif kecil. Gambar 1 (B) menunjukkan

bahwa grafik yang dihasilkan memiliki bentuk hampir simetris, ini menunjukkan bahwa ion – ion telah mampu berdifusi merata ke pori elektroda karbon. Terlihat dari grafik bahwa kurva I_c - I_d variasi HNO_3 15% lebih lebar dari variasi HNO_3 5% yang mengindikasikan bahwa nilai kapasitansi spesifik variasi HNO_3 15% lebih besar dari variasi HNO_3 5%.

Gambar 1 (C) menunjukkan rapat arus yang tinggi pada potensial mendekati 1V yang mengindikasikan variasi HNO_3 25% memiliki tahanan dalam elektroda menjadi besar. Tahanan dalam yang besar jelas dipengaruhi oleh konsentrasi pengaktifan HNO_3 yang semakin besar dan menyebabkan permukaan elektroda dipenuhi oleh banyak pori mikro. Variasi HNO_3 25% menghasilkan kurva I_c - I_d yang paling lebar diantara variasi lainnya sehingga memiliki nilai kapasitansi spesifik terbesar dibandingkan variasi lainnya. Gambar 1 (D) memperlihatkan grafik perubahan kapasitansi spesifik terhadap variasi laju scan. Terlihat bahwa nilai kapasitansi spesifik mengalami penurunan secara eksponensial seiring dengan penambahan laju scan.

Laju scan rendah menyebabkan ion memiliki cukup waktu untuk berdifusi hingga pori meso dan mikro elektroda karbon. Hal ini menyebabkan kurva arus I_c dan I_d besar yang menyebabkan kenaikan nilai kapasitansi spesifik. Sebaliknya pada laju scan tinggi ion hanya sampai pada pori makro, pori – pori mikro yang tidak terisi ion menyebabkan kurva arus I_c dan I_d kecil yang menyebabkan penurunan nilai kapasitansi spesifik.



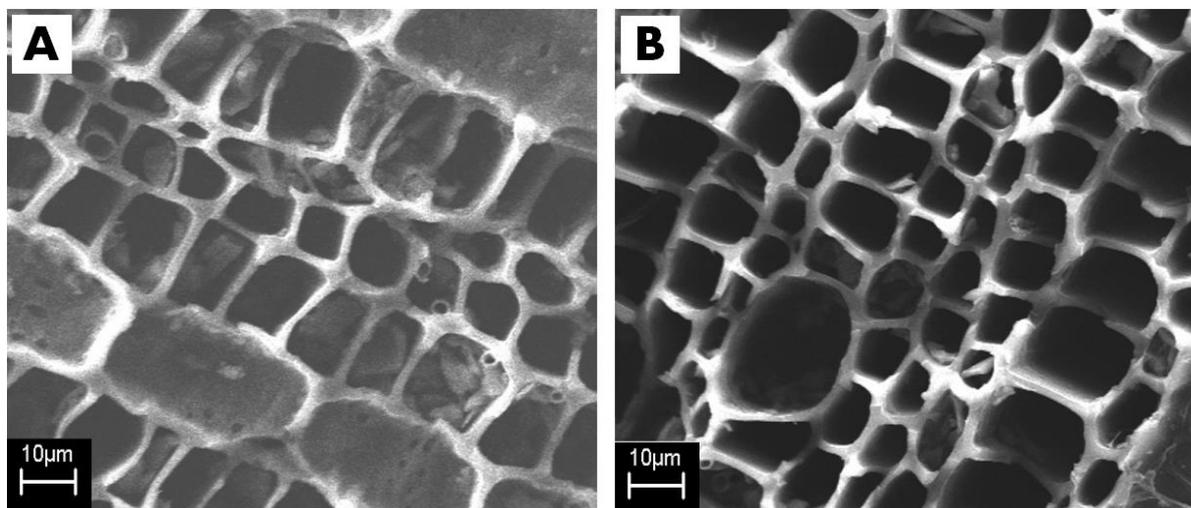
GAMBAR 1. Hasil karakterisasi siklis voltammetri berdasarkan variasi HNO_3 (A) 5 % (B) 15 % (C) 25 % (D) variasi laju scan terhadap nilai kapasitansi spesifik.

Besarnya nilai kapasitansi spesifik berdasarkan variasi laju scan dengan perbedaan konsentrasi HNO₃ dapat dilihat pada Tabel 1. Kapasitansi spesifik tertinggi diperoleh sebesar 81,82 F g⁻¹, 70,19 F g⁻¹ dan 10,44 F g⁻¹ untuk laju scan 1 mV/s pada setiap variasi konsentrasi HNO₃ sebesar 25%, 15% dan 5%.. Sedangkan untuk laju scan 100 mV/s didapatkan nilai kapasitansi spesifik terendah yaitu sebesar 19,67 F g⁻¹, 24,91 F g⁻¹ dan 4,66 F g⁻¹ untuk masing-masing sampel dengan variasi HNO₃ sebesar 25%, 15% dan 5%.

TABEL 1. Data pengukuran kapasitansi spesifik elektroda karbon pada laju scan bervariasi

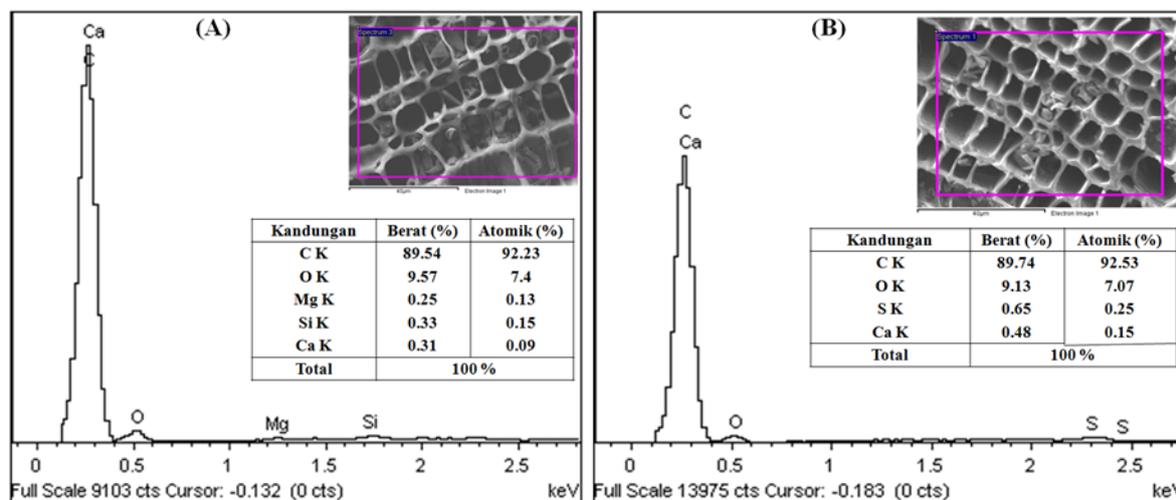
Variasi HNO ₃ (%)	Massa (gram)	Kapasitansi spesifik berdasarkan variasi laju scan (F g ⁻¹)					
		1 mV/s	5 mV/s	10 mV/s	30 mV/s	50 mV/s	100 mV/s
5%	0,024	10,444	7,221	6,758	5,879	4,893	4,656
15%	0,026	70,197	44,717	38,906	30,634	28,366	24,907
25%	0,029	81,823	45,828	34,673	24,469	22,109	19,675

Gambar 2 menunjukkan hasil karakterisasi morfologi struktur elektroda karbon kayu karet dengan variasi HNO₃ 5% dan 25% dengan perbesaran 500 X. Secara umum gambar SEM memperlihatkan makropori yang seragam pada kedua variasi. Hasil yang sama yaitu bentuk makropori yang seragam juga telah dilaporkan sebelumnya untuk elektroda karbon dari kayu poplar [5]. Gambar 2(A) dan 2(B) memperlihatkan pori-pori makro dari permukaan elektroda karbon. Dari kedua gambar tersebut juga dapat dilihat tampilan pori-pori makro pada Gambar 2(A) banyak yang tertutup oleh kehadiran partikel-partikel kecil, keadaan ini tidak ditemui pada Gambar 2(B).



GAMBAR 2. SEM mikrograf pada permukaan elektroda karbon (A) aktivasi 5% HNO₃ dengan perbesaran 500X
 (B) aktivasi 25% HNO₃ dengan perbesaran 500X

Gambar 3 menunjukkan hasil pengujian ED-X berupa persentase kandungan unsur dalam elektroda karbon kayu karet. Gambar 3(A) memperlihatkan bahwa untuk aktivasi dengan HNO₃ 5% memiliki kandungan karbon 89,54% dengan persentase atomik 92,23%. Gambar 3(B) memperlihatkan bahwa untuk aktivasi dengan HNO₃ 25% memiliki kandungan karbon 89,74% dengan persentase atomik 92,53%. Kandungan karbon untuk kedua variasi aktivator hampir sama yaitu sekitar 89% dengan parameter atomik 92%.



GAMBAR 3. Data kandungan unsur pada elektroda karbon hasil karakterisasi EDX untuk variasi aktivasi (A) 5% HNO₃ dan (B) 25% HNO₃.

4. SIMPULAN

Perubahan kapasitansi spesifik terhadap laju scan dengan metode siklis voltametri telah berhasil dianalisa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kapasitansi spesifik mengalami penurunan secara eksponensial ketika penambahan laju scan. Laju scan rendah 1 mV/s menghasilkan nilai kapasitansi spesifik tertinggi yaitu sebesar 10,44 F g⁻¹, 70,19 F g⁻¹ dan 81,82 F g⁻¹ untuk variasi HNO₃ 5%, 15% dan 25%. Sedangkan laju scan tinggi 100 mV/s menghasilkan nilai kapasitansi spesifik terendah yaitu sebesar 4,66 F g⁻¹, 24,91 F g⁻¹ dan 19,67 F g⁻¹. Foto morfologi SEM menunjukkan pori-pori makro alamiah yang didalamnya terdapat distribusi pori mikro. Hasil ED-X memperlihatkan kandungan terbesar penyusun kayu karet ini adalah karbon dengan persentase sekitar 92%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada Kementerian Riset dan Teknologi atas dana bantuan proyek Hibah Kompetensi tahun 2016 dengan judul Nano Karbon Berbasis Limbah Biomassa Sebagai Inti Elektroda Campuran Supercapacitor dengan peneliti utama Dr. Erman Taer, M.Si

DAFTAR ACUAN

- [1] D. Kalpana, S. H. Cho, S. B. Lee, Y.S. Lee, R. Misra, N. G. Renganathan. *Recycled waste paper – A new source of raw material for electric double-layer capacitors*. Journal Power Sources. 2009.190: 587.
- [2] E. Taer, M. Deraman, I.A. Talib, A. A. Umar, M. Oyama, R. M. Yunus. *Physical, electrochemical and supercapacitive properties of activated carbon pellets from pre-carbonized rubber wood sawdust by CO₂ activation*. Current Applied Physics 10 (2010) pp. 1071–1075.
- [3] E. Taer, M. Deraman, I. A. Talib, A. Awitdrus, S. A. Hashmi, A. A Umar. *Preparation of a Highly Porous Binderless Activated Carbon Monolith from Rubber Wood Sawdust by a Multi-Step Activation Process for Application in Supercapacitors*. International Journal of Electrochemical Science. 6. pp. 2011. 3301-3315.

- [4] R. Farma, M. Deraman, I.A. Talib, Awitdrus, R. Omar, M.M. Ishak, E. Taer, N.H. Basri and B.N.M. Dolah. *Effect of Electrolyte Concentration on Performance of Supercapacitor Carbon Electrode from Fibers of Oil Pal Empty Fruit Bunches*. AIP Conference Proceeding. 2015.
- [5] Liu, M.C. Kong, L.B. Zhang, P. Luo, Y.C. Kang, L. *Porous wood carbon monolith for high performance supercapacitors*. *Electrochimica Acta*. 60. pp. 2012.443– 448.