

PENGARUH SUHU PENGAKTIVAN CO₂ TERHADAP LUAS PERMUKAAN ELEKTRODA KARBON DAN SIFAT KAPASITAN SEL SUPERKAPASITOR DARI KAYU KARET

E. Taer^{1*}, W. S. Mustika^{1*}, Zulkifli¹, I.D.M. Syam¹, Rika Taslim²

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

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

* email: widyasintamustika@gmail.com, erman_taer@yahoo.com

Abstrak

Telah dilakukan studi pada pengaruh suhu pengaktifan terhadap sifat fisika dan elektrokimia elektroda karbon superkapasitor dari kayu karet. Elektroda karbon dibuat dari potongan melintang kayu karet yang dicetak membentuk pelet, dilanjutkan dengan proses karbonisasi pada suhu 600 °C dalam lingkungan gas N₂ dan aktivasi fisika dengan variasi suhu 800 °C dan 900 °C dalam lingkungan gas CO₂. Proses aktivasi dilanjutkan dengan menggunakan aktivasi kimia secara bertingkat menggunakan larutan KOH 5 M dan diteruskan 25% larutan HNO₃. Karakterisasi luas permukaan elektroda menggunakan metode *Brunauer Emmet Teller* (BET). Hasil pengujian BET diperoleh luas permukaan sebesar 95.951 m²/g dan 331,543 m²/g, masing-masing untuk pengaktifan CO₂ 800 dan 900 °C. Pengujian sifat elektrokimia elektroda karbon dilakukan dengan membangun sel superkapasitor dan menggunakan larutan H₂SO₄ 1 M sebagai elektrolit. Pengujian sifat elektrokimia dilakukan dengan metoda impedan spektroskopi elektrokimia. Nilai kapasitansi spesifik untuk suhu pengaktifan CO₂ 800 dan 900 °C diperoleh sebesar 56,08 F/g dan 154,03 F/g. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu aktivasi fisika dapat meningkatkan prestasi sel superkapasitor.

Keywords: kayu karet, karbon aktif, superkapasitor

Abstact

The effect of temperature on the activation of the physical and electrochemical properties of the carbon electrodes for supercapacitors from rubber wood had been investigated. Carbon electrodes were prepared from pieces of rubber wood by crosssection part that was made a pellets form, further carbonization process on hold at a temperature of 600 ° C in N₂ gas pressure and physics activation process by variations in temperature of 800 ° C and 900 ° C in CO₂ gas pressure. The activation process had to be continued a using chemical activation sustainable using agent of 5 M KOH solution and 25% HNO₃ solution. Characterization of the surface area of the electrodes using the *Brunauer Emmet Teller* (BET) method. The results of the BET test be obtained the surface area about 95 951 m² / g and 331.543 m² / g for the samples with CO₂ temperature of 800 and 900 °C, respectively. The electrochemical properties of the carbon electrode were characterized by fabricated the supercapacitors cells and 1 M H₂SO₄ solution was use as an electrolyte. The study was carried out by the electrochemical properties impedance electrochemical spectroscopy method. Specific capacitance values for CO₂ activation temperature of 800 and 900 ° C were obtained about 56.08 F / g and 154.03 F / g. The results showed that an increase in the physics activation temperature can improve the performance supercapacitor cells.

Keywords: rubber wood, activated carbon, supercapacitors



1. Pendahuluan

Electrochemical Double Layer Capacitors (EDLC) merupakan salah satu jenis superkapasitor yang populer karena bahan utama yang digunakan pada elektroda adalah karbon aktif. Karbon aktif mempunyai densitas rendah, memiliki pori-pori serta luas permukaan yang besar. Disamping itu, karbon juga mudah didapatkan. Karbon aktif dapat diproduksi dari seluruh material yang memiliki unsur karbon, seperti tempurung kelapa (**Jain dan Tripath, 2014**), fosil, kayu (**Liu dkk, 2012**), dan batubara (**Ge dkk, 2015**).

Pemilihan bahan dasar karbon dan kondisi aktivasi menentukan kinerja elektrokimia pada permukaan karbon, ukuran distribusi pori, dan konduktivitas listrik yang dihasilkan. Kinerja elektrokimia yang baik dapat diperoleh dari karbon aktif yang permukaannya memiliki struktur mesopori (**Xu dkk, 2008**), tipe ini berasal dari jenis kayu (**Bonifacio dkk, 2011**). Kayu karet merupakan jenis kayu yang baik untuk bahan karbon karena mengandung unsur karbon organik yang cukup tinggi, berdasarkan hasil penelitian FAO (*Food and Agricultural Organization*) kayu karet memiliki kadar karbon sekitar 79%, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber karbon aktif dan ketersediaan kayu karet di Riau cukup berlimpah. Luas lahan kebun karet yang telah digunakan hingga Mei 2015 tercatat sebesar 505.264 Ha (**Badan Pelayanan Terpadu dan Penanaman Modal Kota Pekanbaru, 2015**).

Karbon aktif dibuat melalui dua tahap, yaitu tahap karbonisasi dan aktivasi (**Kötz dan Bärttschi, 2002**). Karbonisasi adalah proses dekomposisi senyawa organik melalui pemanasan pada temperatur yang bersesuaian untuk menghasilkan karbon. Kemampuan kerja karbon aktif dapat diupayakan dengan kombinasi metode aktivasi kimia dan fisika. Proses aktivasi kimia yaitu dengan pemakaian zat kimia yang dinamakan aktivator, sedangkan aktivasi fisika dengan perlakuan panas serta mengalirkan gas pengoksidasi seperti Nitrogen. Proses aktivasi fisika dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain laju kenaikan temperatur, laju aliran gas inert, temperatur proses, *activating agent*, lama proses aktivasi dan alat yang digunakan (**Hartini, 2012**). Profil pemanasan merupakan salah satu aspek utama yang dititik beratkan dalam proses karbonisasi (**Taer, 2009**). Penelitian ini diarahkan untuk penyediaan karbon aktif monolit dengan pori alami dari potongan melintang kayu karet melalui variasi suhu aktivasi fisika karena semakin tinggi suhu aktivasi yang digunakan semakin memperbesar luas permukaan dan diameter pori karbon aktif.

2. Metodologi Penelitian

Tahap awal penelitian adalah persiapan elektroda karbon. Bahan dasar pembuatan karbon aktif adalah potongan melintang kayu karet kering dengan ketebalan $\pm 4-5$ mm dan diameter 80-90 mm. Selanjutnya kayu karet dicetak membentuk pellet dengan diameter 19-20 mm menggunakan *hydraulic press*. Proses karbonisasi dilakukan pada suhu 600 °C dalam lingkungan gas Nitrogen dan dilanjutkan dengan proses aktivasi fisika dengan variasi suhu 800 °C dan 900 °C. Proses selanjutnya adalah pemolesan dan pencucian untuk mengurangi cacat permukaan dan meningkatkan kemurnian karbon aktif. Selanjutnya sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C selama 24 jam. Langkah terakhir untuk pembuatan elektroda adalah aktivasi kimia bertingkat, yaitu menggunakan aktivator KOH 5 M dan diteruskan 25% larutan HNO₃.

Elektroda karbon aktif direndam dalam larutan elektrolit H₂SO₄ dengan konsentrasi 1 M selama 24 jam. Kemudian komponen elektroda digabungkan dalam body superkapasitor berbentuk persegi yang terbuat dari acrylic dengan bagian tengah yang dilubangi. Pengumpul arus yang digunakan berupa stainless steel. Pengumpul arus ini digabungkan dengan



komponen elektroda dan dilapisi dengan teflon dengan diameter yang sama dengan elektroda, sementara itu diantara dua elektroda dipasang separator. Separator yang digunakan adalah separator alami dari membran kulit telur itik (MKTI) (Sumantre, 2012).

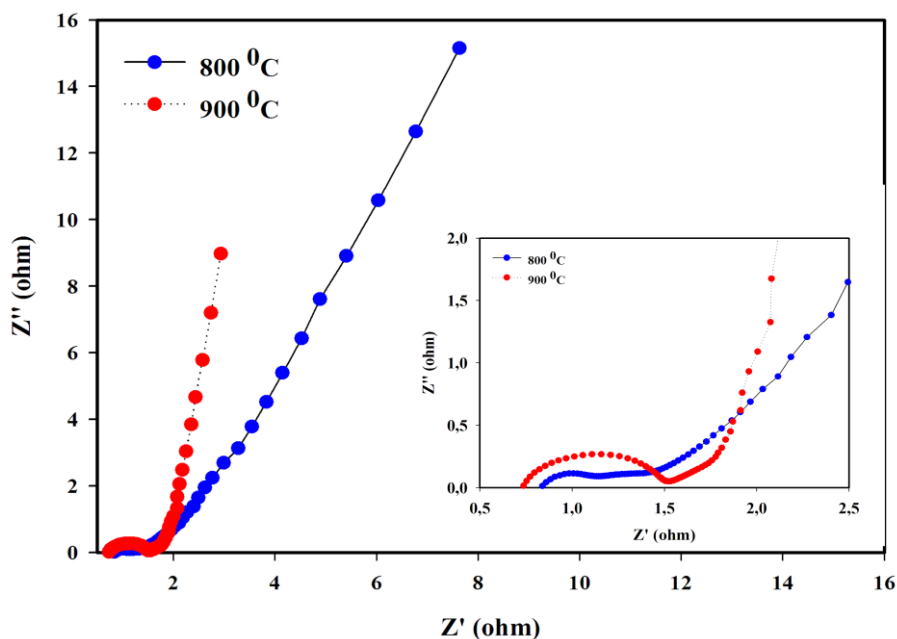
Pengukuran sifat elektrokimia dilakukan dengan metode Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) yang bertujuan untuk menentukan kapasitansi sel superkapasitor. Pengujian EIS dilakukan dengan menggunakan solatron interface 1286. Pengukuran EIS dilakukan di Universitas Kebangsaan Malaysia (UKM). Kemudian data pengukuran dinyatakan dalam kurva plot Nyquist. Plot Nyquist diperoleh pada rangkaian terbuka dengan amplitudo tegangan sebesar 10 mV dan frekuensi 1 kHz sampai 0,01 Hz.

Pengukuran Luas Permuakaan elektroda dilakukan dengan alat uji Surface Area Analyzer (SAA) dengan merek Quanthachrome seri NOVWIN. Pengukuran SAA dilakukan di Universitas Negeri Semarang. Prinsip kerja alat ini menggunakan mekanisme adsorpsi gas pada permukaan suatu bahan padat yang akan dikarakterisasi pada suhu konstan yaitu suhu didih dari gas tersebut. Gas yang digunakan adalah nitrogen dengan suhu didih 77.3 K, dan massa sampel yang dibutuhkan untuk pengujian 0.1197 g.

Hasil dan Diskusi

1. Karakterisasi Sel Elektrokimia

Plot Nyquist dibagi menjadi tiga bagian yang berhubungan dengan frekuensi: (a) daerah setengah lingkaran menunjukkan tahanan total (ESR) yang diperoleh dari hasil pengurangan R_p terhadap R_s . Bagian (b) garis lurus dengan sudut sekitar 45° menunjukkan waktu yang dibutuhkan ion elektrolit meresap kedalam pori. Bagian terakhir (c) Garis tegak lurus terhadap impedansi riil (Z') menggambarkan sifat kapasitif sel superkapasitor (Xi-miao dkk, 2007). Gambar 1 menunjukkan hasil pengukuran *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) untuk sel superkapasitor dengan variasi suhu pengaktifan CO_2 .



Gambar 1. Plot Nyquist sel superkapasitor dengan variasi suhu pengaktifan

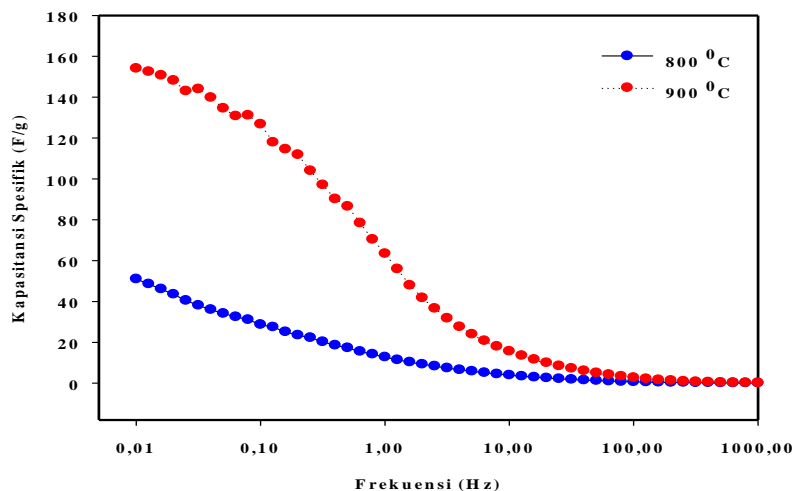
Gambar 1 menunjukkan bahwa nilai impedansi riil Z'' semakin kecil seiring dengan bertambahnya suhu pengaktifan CO_2 . Nilai Z'' pada suhu pengaktifan CO_2 800°C adalah 15,32 ohm dan nilai Z'' pada suhu pengaktifan CO_2 900°C adalah 9,10 ohm. Nilai tahanan total sel superkapasitor untuk variasi suhu pengaktifan CO_2 ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai tahanan sel superkapasitor berdasarkan variasi suhu pengaktifan CO_2 .

| Sampel | R_s (Ω) | R_p (Ω) | ESR (Ω) |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| CO_2 800°C | 0,84 | 1,45 | 0,61 |
| CO_2 900°C | 0,74 | 1,52 | 0,78 |

Berdasarkan Tabel 1 dapat dianalisa sifat sel superkapasitor. Nilai R_s sel superkapasitor pada suhu pengaktifan CO_2 800°C lebih tinggi dibandingkan R_s sel pada suhu pengaktifan 900°C . Nilai R_p sel superkapasitor pada suhu pengaktifan menunjukkan nilai tahanan yang lebih tinggi pada sel superkapasitor dengan suhu pengaktifan 900°C . Nilai ESR adalah selisih dari nilai R_p dengan R_s . Nilai ESR sel superkapasitor dengan suhu pengaktifan 900°C juga lebih besar dibandingkan dengan suhu pengaktifan 800°C .

Gambar 2 menjelaskan hubungan antara nilai kapasitansi spesifik terhadap frekuensi. Nilai kapasitansi spesifik terbesar ditunjukkan pada saat frekuensi terkecil (0.01 Hz). Nilai kapasitansi spesifik untuk sel superkapasitor dengan CO_2 800°C adalah 56,08 F/g dan 154,03 F/g untuk suhu pengaktifan CO_2 900°C .

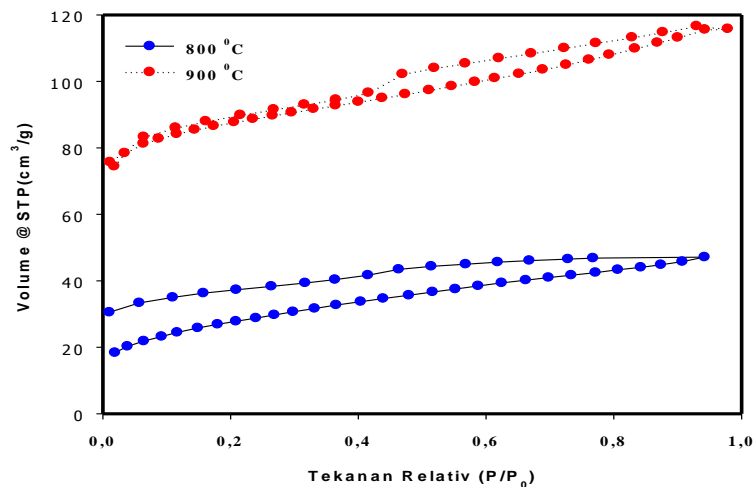


Gambar 2. Hubungan antara kapasitansi spesifik terhadap frekuensi

Nilai tahanan total sel berbanding terbalik dengan kapasitansi spesifik superkapasitor. Namun pada penelitian ini, nilai ESR sel superkapasitor lebih tinggi untuk suhu pengaktifan CO_2 900°C disebabkan daerah kontak pada permukaan sel yang lebih luas dibandingkan sel superkapasitor dengan suhu pengaktifan 800°C .

2. Karakterisasi Luas Permukaan Sel Superkapasitor

Hubungan volume serapan gas Nitrogen (N_2) untuk elektroda karbon aktif dari potongan melintang kayu karet dengan variasi suhu pengaktifan CO_2 disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan volume serapan terhadap perubahan tekanan gas N_2 untuk pellet karbon aktif monolit dari potongan melintang kayu karet

Berdasarkan Gambar 3 dapat dianalisa luas permukaan sel superkapasitor, luas permukaan sel superkapasitor sebanding dengan nilai kapasitansi spesifik sel superkapasitor (**Rufford dkk, 2009**). Daerah permukaan yang luas memungkinkan penyimpanan daya yang lebih besar. Luas permukaan sel elektroda pellet karbon aktif dari potongan melintang kayu karet disajikan pada Tabel 2

Tabel 2 Luas permukaan sel elektroda pellet karbon aktif dari potongan melintang kayu karet

| Suhu Pengaktifan CO_2 | Luas Permukaan |
|-------------------------|-----------------|
| 800 °C | 95.951 m^2/g |
| 900 °C | 331.543 m^2/g |

Berdasarkan Tabel 2 ditunjukkan bahwa luas permukaan sel superkapasitor lebih tinggi pada suhu pengaktifan CO_2 900 °C. Suhu pengaktifan yang tinggi menyebabkan pengotor yang mengisi pori berkurang lebih banyak, sehingga terbentuk pori yang lebih banyak dan menghasilkan daerah permukaan yang luas.

Kesimpulan

Pembuatan superkasitor menggunakan elektroda pellet karbon aktif dari potongan melintang kayu karet dengan aktivasi fisika menggunakan gas CO_2 telah berhasil dilakukan. Suhu pengaktifan yang lebih tinggi menghasilkan nilai kapasitansi spesifik yang tinggi pula karena berkaitan dengan luas permukaan elektroda yang lebih tinggi.

Ucapan Terimakasih

Kami mengucapkan terimakasih kepada DP2M DIKTI atas bantuan pendanaan melalui *project* penelitian Hibah Kompetensi tahun 2015 dengan judul Nanokarbon Berbasis Limbah Biomassa sebagai Inti Elektroda Campuran Untuk Superkapasitor.



Daftar Pustaka

- Badan Pelayanan Terpadu dan Penanaman Modal Kota Pekanbaru. 2015. Peluang Investasi Kota Pekanbaru. *Pekanbaru: Kepala BTPM Kota Pekanbaru*.
- Bonifacio, L.D. Lotsch, B.V. Ozin, G.A. 2011. Periodic Mesoporous Materials: Holes Filled with Opportunities. *Elsevier*: 97.
- Ge, X. Tian, F. Wu, Z. Yan, Y. Cravotto, G. Wu, Z. 2015. Adsorption of naphthalene from aqueous solution on coal-based activated carbon modified by microwave induction: Microwave power effects. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 91: 67–77.
- Hartini, L. 2012. Efek Variasi Suhu Karbonisasi dalam Mendapatkan Aktif dari Kulit Durian untuk Aplikasi Pembersih Air Limbah. *Skripsi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau*.
- Jain, A dan S.K. Tripathi. 2014. Fabrication and characterization of energy storing supercapacitor devices using coconut shell based activated charcoal electrode. *Materials Science and Engineering: B*. Vol 183: 54–60.
- Kötz, R dan Bärtschi, M. 2002. Hy.Power-A Fuel Cell Car Boosted with Supercapacitors. *The 12th International Seminar on Double Layer Capacitors and Similar Energy Storage Devices*. Deerfield Beach, USA.
- Liu, M.C. Kong, L.B. Zhang, P. Luo, Y.C. Kang, L. 2012. Porous wood carbon monolith for high performance supercapacitors. *Electrochimica Acta*. 60: 443–448.
- Rufford, T.E. Jurcakova, D.H. Fiset, E. Zhu, Z. Lu, G.Q. 2009. Double-layer Capacitance of waste coffee ground activated carbons in an organic electrolyte. *Electrochemistry Communications*. 11: 974–977.
- Sumantre, M.A. 2013. Membran dari kulit telur sebagai separator superkapasitor. *Skripsi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau, Pekanbaru*.
- Taer, E. 2009. Pembangunan Superkapasitor Menggunakan Elektroda Karbon. *FMIPA Universitas Riau : Laporan Penelitian*.
- Xio-miou, L.Z., Rui, Z. Liang, L. Dong-hui, Q. Wen-ming, Y. Jun-he, L. Li-cheng. 2007. Impedence of Carbon Aerogel / Activated Carbon Composites as Electrode of Electrochemical Capacitors in Aprotic Electrolyte, *Journal science direct*.
- Xu, B. Wu, F. Chen, R. Cao, G. Chen, S. Zhou, Z. Yang, Y. 2008. Highly mesoporous and high surface area carbon: A high capacitance electrode material for EDLCs with various electrolytes. *Electrochemistry Communications*. 10: 795–797.

