

**PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI ELEKTRODA KARBON AKTIF
DENGAN KARBONISASI DAN AKTIVASI BERTINGKAT
MENGGUNAKAN GAS CO₂ DAN UAP AIR**

Yusriwandi¹⁾ Erman Taer²⁾ Rakhmawati Farma²⁾

^{1,2)}Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau Pekanbaru Kampus Binawidya
Jl. HR. Soebrantas Km 12,5 Simpang Baru Panam Pekanbaru 28293.
E-mail:papahazyq@gmail.com, erman_taer@yahoo.co.id

ABSTRACT

Has been conducted a research to produce cell supercapacitor electrodes of activated carbon (AC) which were prepared using rubber wood sawdust (SGKK). KA electrode is made via carbonization and activation method integrated using CO₂ and water vapor for 4 hours. N₂ flow is maintained from room temperature to a temperature of 600 °C, followed by CO₂ to a temperature of 900 °C for 2 hours, water vapor flow continued for 2 hours at a temperature of 900 °C. Crystallite structure is reviewed samples using X-Ray Diffraction (XRD). Methods Scanning Electron Microscopy (SEM) was used to analyze the surface morphology. While the composition of the content chemical elements the samples were analyzed using Energy Dispersive X-ray (EDX). Electrochemical properties of samples were tested using the method Cyclic Voltammetry (CV). Overall characterization of physical properties indicates that the sample is a carbon material with a carbon content of 90%. Electrochemical test proved that the integrated activation method can produce a electrode with excellent performance with a specific capacitance value of 72 F/g.

Keywords: *physical activation, integrated activation, activated carbon, rubber wood sawdust, supercapacitor*

PENDAHULUAN

Superkapasitor sebagai salah satu perangkat penyimpanan energi yang telah menarik banyak perhatian peneliti dewasa ini karena memiliki sifat khusus seperti energi dan rapat daya yang tinggi, ketahanan yang bagus dan waktu *charge discharge* yang relatif cepat [1]. Komponen penyusun sel superkapasitor yaitu pengumpul arus, elektroda, pemisah dan elektrolit. Bahan elektroda merupakan kontributor utama terhadap kapasitas penyimpanan energi superkapasitor. Bahan karbon seperti graphene, karbon nanotube dan karbon templet telah banyak digunakan sebagai elektroda karena dapat menghasilkan nilai kapasitansi spesifik dan rapat energi yang tinggi [2].

Elektroda karbon superkapasitor dapat diproduksi menggunakan bahan yang berasal dari limbah biomasa [3]. Penggunaan biomasa sebagai bahan baku karbon dikarenakan biaya produksi yang relatif rendah, luas permukaan yang tinggi dan mudah didapat [4].

Bahan biomassa yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai elektroda karbon aktif adalah serbuk gergaji kayu karet dengan nilai kapasitansi spesifik sebesar 90 F g⁻¹[5].

Proses karbonisasi dan aktivasi merupakan suatu mekanisme utama dalam degradasi bahan biomasa menjadi bahan karbon. Profil karbonisasi membutuhkan waktu yang lama yaitu 8-9 jam [6]. Proses aktivasi fisika menggunakan perlakuan panas pada temperatur 900°C yang membutuhkan waktu 3-4 jam. Penelitian ini menawarkan solusi dalam mempersingkat waktu karbonisasi dan aktivasi pada proses pembuatan karbon aktif dari serbuk gergaji kayu karet dengan metode karbonisasi dan aktivasi bertingkat menggunakan gas CO₂ dan uap air.

METODE PENELITIAN

Pembuatan Elektroda

Serbuk gergaji kayu karet (SGKK) dikeringkan dan dipra-karbonisasi pada suhu 250°C, dilanjutkan dengan proses

penghalusan menggunakan *grinder* dan *ballmilling* serta pengayakan, sehingga diperoleh karbon hijau (KH). Serbuk KH dicetak menjadi pelet dengan *Hydraulic Press*. Tahap selanjutnya adalah proses pemanasan bertingkat menggunakan furnace, yang diawali karbonisasi dari suhu ruang hingga suhu maksimum 600 °C di lingkungan gas nitrogen (N₂), diikuti proses aktivasi fisika menggunakan CO₂ hingga suhu 900 °C dengan waktu tahan 2 jam dan dilanjutkan aktivasi uap air sehingga terbentuk pelet karbon aktif yang disimbolkan dengan KA. Proses pemolesan, penetralan dan pengeringan dilakukan untuk mengurangi cacat pada pelet karbon aktif sehingga terbentuk pelet karbon aktif yang dapat diaplikasikan sebagai elektroda sel superkapasitor.

Karakterisasi Fisika

Massa, diameter dan tebal diukur setelah pencetakan pellet atau sebelum dan sesudah proses karbonisasi dan aktivasi bertingkat. Struktur kristalit KA diuji menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dengan panjang gelombang $K\alpha$ 15,406 nm dengan rentang sudut difraksi (2θ) yang digunakan yaitu 10-100°. Morfologi dan kandungan unsur pada KA dikarakterisasi menggunakan metode *Scanning Electron Microscopies* (SEM) dan *Energy Dispersif X-Ray* (EDX).

Studi Elektrokimia

Studi sifat elektrokimia KA dilakukan dengan metode *Cyclic Voltammetry* dalam larutan elektrolit H₂SO₄. Sel superkapasitor disusun dalam bentuk lapisan *sandwich* yang terdiri dari komponen seperti KA sebagai elektroda, 1M H₂SO₄ sebagai elektrolit, membran kulit telur itik berperan sebagai separator, teflon speris berperan sebagai isolator dan acrylic dipilih sebagai bodi superkapasitor. Pengukuran sifat elektrokimia dilakukan

menggunakan *handmade CV UR-Rad* dilengkapi program *CV Version1.1* yang telah terkalibrasi. Pengukuran CV dilakukan pada jendela potensial 0,0-0,5 V dengan variasi *scan rate* 1, 2 dan 5 mV/s.

HASIL DAN PEMBAHASAN

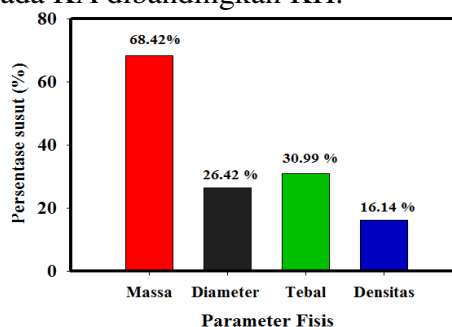
Sifat Fisika Elektroda

Pengukuran massa (m), diameter (d), ketebalan (t) dan perhitungan densitas (ρ) ditinjau sebelum dan sesudah karbonisasi dan aktivasi terintegrasi, data disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Massa, tebal, diameter dan densitas sebelum dan sesudah karbonisasi dan aktivasi bertingkat.

Sampel	m (g)	d (cm)	t (cm)	ρ (g/cm ³)
KH	0.703	1.953	0.242	0.973
KA	0.222	1.437	0.167	0.816

Tabel 1 menunjukkan bahwa proses pemanasan menyebabkan penyusutan dimensi dan densitas. Analisa nilai susut dimensi dan densitas pada KA disajikan pada Gambar 1, menampilkan bahwa penyusutan tertinggi terjadi pada massa, yang disebabkan oleh penguapan bahan selain karbon selama proses karbonisasi dan aktivasi. Susut pada diameter dan ketebalan juga disebabkan oleh pemanasan yang berlangsung menghadirkan ruang kosong antar atom-atom karbon sehingga terbentuk ikatan atau susunan atom atom karbon yang lebih kuat. Susut masa yang dominan dibandingkan susut diameter dan ketebalan secara jelas akan menyediakan densitas yang lebih rendah pada KA dibandingkan KH.



Gambar 1. Persentase susut dimensi dan densitas.

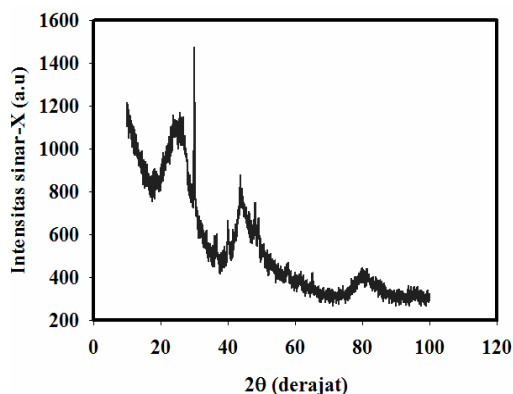
Pola XRD disajikan dalam kurva difraktogram intensitas sinar-X terhadap sudut difraksi (2θ) pada rentang sudut 10-100° seperti pada Gambar 2 dengan pola XRD KA mengindikasikan dua buah puncak umum untuk material karbon pada 2θ sebesar 24° dan 44° untuk masing-masing bidang refleksi 002 dan 100. Jarak antar bidang kisi (d_{hkl}) ditinjau dengan persamaan Bragg ($n\lambda = 2d \sin 2\theta$). Dimensi mikrokristalit (L_c dan L_a) dihitung menggunakan persamaan Debye-Scherrer ($L_a = 1,94 \lambda / \beta \cos \theta_{(100)}$ dan $L_c = 0,89 \lambda / \beta \cos \theta_{(002)}$). Nilai d_{002} , d_{100} , L_c , L_a , L_c/L_a dan L_c/d_{002} yaitu berturut-turut

3.510 Å, 1.963 Å, 14.132 Å, 18.824 Å,

0.751 dan 4.026. Nilai d_{002} , L_c dan L_a pada rentang 3.532–3.608 Å, 8.433–19.217 Å dan 15.384–43.321 Å untuk komposit karbon aktif tandan kosong kelapa sawit dengan *green petroleum cookes* [7]. Karbon aktif dari tandan

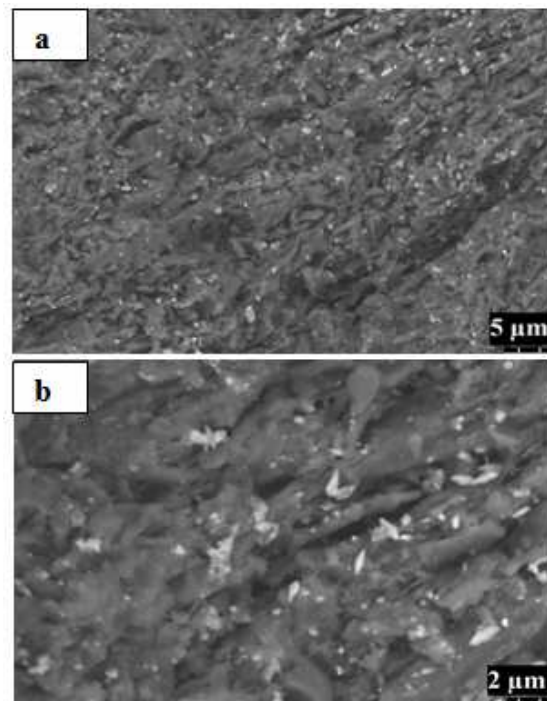
kelapa sawit berada pada d_{100} 2.035 Å

[8]. Nilai dimensi kristalit ini berada pada rentang yang wajar untuk suatu material karbon.



Gambar 2. Kurva XRD Karbon Aktif

Gambar 3. menampilkan hasil karakterisasi SEM pada perbesaran yang berbeda. Gambar 3 (a) menunjukkan mikrograf SEM pada skala 5 µm, permukaan dominan berwarna hitam mengindikasikan bahwa proses bahan karbon. Gambar 3 (b) menunjukkan kehadiran pori pada permukaan karbon. Proses karbonisasi dan aktivasi bertingkat menggunakan gas CO₂ dan uap air menciptakan pori yang unik dengan bentuk seperti lubang pipih yang panjang. Keberadaan pori menyediakan ruang untuk transfer muatan atau ion pada elektroda KA.

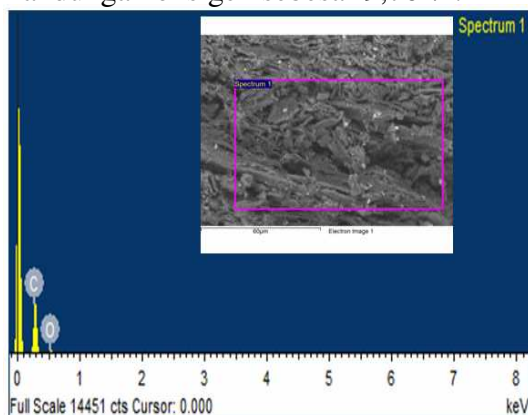


Gambar 3. Mikrogram SEM KA, a) perbesaran 1000 kali, b) perbesaran 2500 kali.

Bukti tambahan yang menunjukkan bahwa proses karbonisasi dan aktivasi bertingkat pada KA mampu mengubah bahan biomassa menjadi bahan karbon dengan kualitas yang baik dilakukan analisa EDX. Spektrum uji EDX disajikan pada Gambar 4 .

Gambar 4 menunjukkan bahwa spektrum uji EDX dideteksi pada potensial karakteristik mataerial karbon, data kuantitatif karbon membuktikan

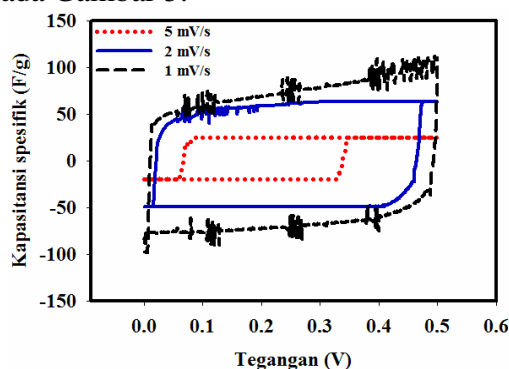
bahwa C₂H₂ merupakan material karbon dengan kandungan unsur karbon yang tinggi yaitu sebesar 90,24 % dan kandungan oksigen sebesar 9,76 %.



Gambar 4. Spectrum uji EDX KA

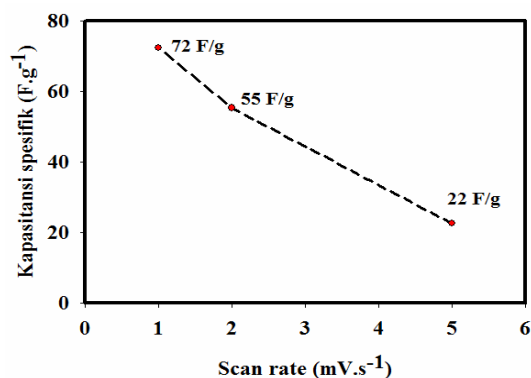
Sifat Elektrokimia

Data pengukuran *Cyclic Voltammetry* dinyatakan dalam kurva kapasitansi spesifik (C_{sp}) terhadap tegangan dalam variasi scan rate, seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva CV KA

Gambar 5 menunjukkan bahwa kenaikan scan rate menghadirkan daerah potensial tengah yang sempit. Daerah potensial tengah terluas tercapai pada scan rate 1 mV/s, dimana proses pengisian muatan pada KA berlangsung secara perlahan sehingga jumlah muatan yang ditransfer dari elektrolit kedalam pori elektroda lebih banyak. Perubahan nilai C_{sp} berdasarkan scan rate disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Kapasitansi spesifik pada scan rate berbeda.

Berdasarkan Gambar 6, nilai C_{sp} berkurang dengan kenaikan scan rate. Nilai C_{sp} tertinggi diperoleh pada scan rate 1 mV/s sebesar 72 F/g. Beberapa penelitian yang telah dilakukan dalam pembuatan karbon aktif dari berbagai bahan biomassa dengan metode aktivasi fisika disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan nilai kapasitansi spesifik elektroda karbon aktif beberapa biomassa.

Bahan	C _{sp} (F/g)	Ref
Duri pinus	78	[9]
Kayu Karet	90	[5]
Sekam padi	19	[10]
Serbuk gergaji kayu karet	34	[11]
Serbuk gergaji kayu karet	72	Studi

Berdasarkan Tabel 2. Metode karbonisasi dan aktivasi bertingkat KA-C₂H₂ menunjukkan performa elektro kimia yang baik untuk sel superkapasitor.

SIMPULAN

Metode karbonisasi dan aktivasi bertingkat menggunakan CO₂ dan uap air telah berhasil menghasilkan elektroda sel superkapasitor dengan performa yang baik melalui waktu pemanasan yang lebih singkat dan biaya energy listrik yang lebih rendah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan terimakasih kepada DP2M DIKTI atas bantuan pendanaan melalui *project* penelitian Hibah Kompetensi tahun 2016 dengan judul Nanokarbon Berbasis Limbah Biomassa sebagai Inti Elektroda Campuran Untuk Superkapasitor.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Lijuan, C., Zhibing, F., Miao, F., Lei, Y., Jianjun, W., Wei, H.Y., Xichuan, L., Chaoyang, W. 2013. Optimal electrochemical performances of CO₂ activated carbon aerogels for supercapacitors. Funded by the National Science Foundation of China.
- [2] Yan, J., Q. Wang., T. Wei., Z. Fan. 2014. Recent advanced in design and fabrication of electrochemical supercapacitors with high energy density. *Adv. Energy matter* 4, 1300816.
- [3] Abioye, A.M and Ani, F.N.,2015. Recent development in the production of activated carbon electrodes from agricultural waste biomass for supercapacitors: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 5, 1282–1293.
- [4] Ruiz, V., Blanco, C., Granda, M., Menendez, R., and Santamaria, R. 2007. Influence of electrode preparation on the electrochemical behaviour of carbon-based supercapacitors. *J Appl Electrochem* 37, 717-721.
- [5] Taer, E., M. Deraman., R. Taslim., Iwantono. 2013. Preparation of binderless activated carbon monolith from pre-carbonization rubber wood sawdust by controlling of carbonization and activation condition in the *4th Nanoscience and Nanotechnology Symposium (NNS)- AIP Conference Proceedings* 1554, 33-37.
- [6] Taer, E., Deraman, M., Talib, I.A., Awitdrus, A., Hashmi, S.A., 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.
- [7] Awitdrus, Deraman, M., Talib, I.A., Omar, R., Jumali, M.H., Taer, E., Saman, M.H., 2010. Microcrystallite dimension and total active surface area of carbon electrode from mixtures of pre-carbonized oil palm empty fruit bunches and green petroleum cokes. *Sains Malaysiana* 39, 83–86.
- [8] Farma, R., Deraman, M., Awitdrus, A., Talib, I.A., Taer, E., Basri, N.H., Manjunatha, J.G., Ishak, M.M., Dollah, B.N.M., Hashmi, S.A., 2013. preparation of highly porous binderless activated carbon electrodes from fibres of oil palm empty fruit bunches for application in supercapacitors. *Bioresource Technol* 132, 254–261.
- [9] Manyala, N., Bello, A., Barzegar, F., Khaleed, A.A., Momodu, D.Y., Dangbegnon, J.K., 2016. Coniferous pine biomass: A novel insight into sustainable carbon materials for supercapacitors electrode. *Materials Chemistry and Physics* 182, 139–147.
- [10] Kuratani, K., Okuno, K., Iwaki, T., Kato, M., Takeichi, N., Miyuki, T., Awazu, T., Majima, M., Sakai, T., 2011. Converting rice husk activated carbon into active material for capacitor using three dimensional porous current collector. *Journal of Power Sources* 196, 10788– 10790.

- [11] Taer E., Deraman, M., Talib, I.A., Umar, A.A., Oyama, M., Yunus, R.M., 2010. Physical, electrochemical and supercapacitive properties of activated carbon pellets from pre-carbonized rubber wood sawdust by CO₂ activation. *Current Applied Physics* 10, 1071–1075.