

**PENGARUH PENAMBAHAN SURFAKTAN *SODIUM DODECYL SULFATE* PADA
SIFAT FISIS ELEKTRODA SUPERKAPASITOR DARI
KARBON TEMPURUNG KELAPA**

Nurul Hidayu*, Erman Taer, Sugianto

**Mahasiswa Program S1 Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau
Kampus Bina Widya Pekanbaru, 28293, Indonesia**

**nurulhidayualkindi@yahoo.co.id*

ABSTRACT

Supercapacitor electrodes from coconut shell carbon (CSC) have been fabricated by using the addition of a surfactant variation Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) 1,5 M on the ball milling process. A chemical activation was performed by activator KOH in mass ratio of carbon and KOH is 1:4. Measurement of the physical properties of carbon powder is carried out by X-ray Diffraction, Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-rays for the crystalline properties, structure of the surface morphology, and the content of coconut shell carbon electrode elements. XRD measurement showed that the amorphous peaks of carbon electrodes at 2θ is $24,03^{\circ}$ - $46,06^{\circ}$ represented by the presence of carbon materials with their crystal orientation is (002) and (100). SEM micrograph on magnification of 500 and 5000X showed that the pore distribution of the carbon electrodes is dominant on the macropores and the generated particle is within the range of 0,5-25 nm. Energy Dispersive X-rays analysis showed the carbon content in the sample with the addition SDS is 94,56%. The results of the physical properties showed that the addition of surfactant SDS could increase the quality of coconut shell carbon.

Keywords : Coconut Shell, supercapacitors, SDS surfactant.

ABSTRAK

Elektroda sel superkapasitor dari bahan karbon tempurung kelapa telah difabrikasi menggunakan penambahan surfaktan anionik *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS) 1,5 M pada proses *ball milling*. Aktivasi kimia menggunakan aktivator KOH dengan perbandingan massa karbon dan KOH adalah 1:4. Pengukuran sifat fisis serbuk karbon dilakukan dengan Difraksi sinar-X, *Scanning Electron Microscopy*, dan energi dispersif sinar-X untuk melihat sifat kristalin, struktur morfologi permukaan, dan kandungan unsur elektroda karbon tempurung kelapa. Pengujian XRD menunjukkan puncak amorf karbon pada sudut 2θ , yaitu $24,03^{\circ}$ - $46,06^{\circ}$ yang menggambarkan senyawa karbon dengan orientasi kristal (002) dan (100). Hasil uji SEM pada perbesaran 500 dan 5000 X menunjukkan bahwa distribusi pori elektroda karbon didominasi pori makro dan partikel yang dihasilkan dalam ukuran 0,5-25 nm. Pengujian energi dispersif sinar-X menunjukkan kandungan karbon pada sampel dengan penambahan SDS sebanyak 94,56%. Hasil pengukuran sifat fisis menunjukkan bahwa penambahan surfaktan SDS telah mampu meningkatkan kualitas karbon tempurung kelapa.

Kata Kunci : Tempurung Kelapa, Superkapasitor, Surfaktan SDS.

PENDAHULUAN

Peningkatan inovasi di bidang teknologi, industri dan informasi merupakan suatu kenyataan bahwa kebutuhan akan energi, khususnya energi listrik di Indonesia semakin berkembang. Sebuah perangkat yang diperlukan mampu menyimpan energi yang efisien dan ramah lingkungan. Salah satu produk inovasi teknologi terbaru yang memiliki kemampuan menyimpan energi dalam jumlah yang besar, memiliki umur pakai yang jauh lebih lama dari pada baterai, dan ramah lingkungan adalah superkapasitor.

Faktor yang mempengaruhi besarnya kemampuan dalam penyimpanan energi adalah struktur pori pada elektroda yang biasanya terbuat dari karbon aktif biomassa. Beberapa penelitian yang telah dilakukan dalam pembuatan elektroda superkapasitor dengan menggunakan beberapa bahan biomassa diantaranya tempurung kelapa (Pambayun dkk., 2013), tempurung kemiri (Darmawan dkk., 2009), tempurung kelapa sawit, tempurung kluwak, ampas tebu (Rufford dkk., 2010), bambu (Kim dkk., 2006), dan lain-lain. Penelitian ini menggunakan tempurung kelapa sebagai bahan pembuatan karbon aktif karena secara teoritis tempurung kelapa memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin yang cukup tinggi sehingga kandungan karbon pada tempurung kelapa juga sangat tinggi.

Superkapasitor berkerja berdasarkan prinsip lapisan ganda yang berhubungan dengan proses difusi ion antara pori elektroda dan elektrolit, sehingga luas permukaan spesifik yang tinggi dan volume pori yang besar pada elektroda merupakan persyaratan dasar untuk mencapai kapasitansi yang tinggi (Gao dkk., 2009).

Beberapa cara untuk mendapatkan atau menambah jumlah struktur pori salah satunya adalah dengan cara mekanik, yaitu *ball milling* (Sari, 2014). Penggilingan sampel pada penelitian ini dilakukan dengan pencampuran surfaktan anionik,

umumnya digunakan adalah *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS) (Nandhini dkk., 2012). Surfaktan SDS berfungsi sebagai pengaktif tegangan permukaan sampel agar tidak terjadi penggumpalan antar partikel setelah dilakukan proses penggilingan, memperkecil dan mengontrol ukuran partikel yang terbentuk, serta membantu dalam pembentukan struktur pori.

Penelitian ini difokuskan untuk menganalisa pengaruh penambahan surfaktan *Sodium Dodecyl Sulfate* terhadap sifat fisis elektroda karbon tempurung kelapa yang telah di aktivasi dengan KOH. Penambahan surfaktan SDS dengan waktu *ball milling* 40 jam diperkirakan dapat menghasilkan partikel karbon berdiameter lebih kecil dan aktivasi kimia yang dilakukan dengan menggunakan aktivator KOH diharapkan mampu memperbanyak struktur pori pada elektroda karbon tempurung kelapa.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah karbon tempurung kelapa. Karbon tempurung kelapa (KTK) dihancurkan dengan menggunakan lesung penggilingan manual dan kemudian diayak sehingga menghasilkan ukuran serbuk $\pm 0,5$ mm. Dilanjutkan dengan proses *ball milling* selama ± 20 jam dengan berat sampel 100 g untuk satu botol sampel. Setelah itu dilakukan pengayakan untuk mendapatkan serbuk dengan ukuran 38 μm . Serbuk dengan ukuran standar 38 μm ini akan digiling kembali pada proses *Ball milling* tahap akhir dengan pencampuran surfaktan pada serbuk KTK. Proses ini dilakukan dengan mencampurkan 20 g sampel ke dalam gelas beker yang berisi 80 ml larutan surfaktan dengan konsentrasi 1,5 M sambil diaduk selama 1 (satu) jam dengan kecepatan putar 300 rpm. Selanjutnya sampel dikeringkan di dalam oven pada suhu 105 °C. Kemudian sampel yang telah kering digiling selama 40 jam.

Proses pencucian tahap I bertujuan untuk menghilangkan surfaktan yang masih terdapat pada sampel. Sampel KTK dicuci menggunakan air suling sebanyak 3-5 kali. Kemudian sampel di masukkan ke dalam oven pada suhu 105°C. Penelitian ini menggunakan aktivasi KOH dengan perbandingan massa serbuk KTK, KOH, dan air yaitu 1:4:5.

Pencucian tahap II bertujuan untuk menetralkan PH karbon dan meningkatkan kemurnian kandungan karbon. Pengujian nilai pH (potensial Hidrogen) dilakukan dengan menggunakan kertas indikator universal sehingga pH serbuk karbon tersebut netral, yaitu $\text{pH} = 7$. Proses pengeringan dilakukan dengan menggunakan oven pada temperatur 105 °C selama $\pm 2 \times 24$ jam.

Karakterisasi Sifat Fisis Karbon Aktif

Karakterisasi ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sifat-sifat fisis dari elektroda karbon KTK yang sudah diberikan perlakuan, meliputi pengukuran porositas, morfologi, dan struktur kristalin elektroda karbon.

1. Difraksi Sinar-X

Pengukuran Difraksi sinar-X (XRD) digunakan untuk mengetahui parameter kisi, ukuran kristal, dan fasa kristalin yang terbentuk pada elektroda karbon dengan menggunakan Difraktometer tipe X-Pert *Powder Panalitycal* dengan sumber sinar Cu $k\text{-}\alpha$ dan panjang gelombang 1,5418 Å°. Sudut difraksi yang digunakan adalah 2θ yaitu pada rentang sudut $10^\circ - 100^\circ$.

Pada penelitian ini, Difraksi sinar-X (XRD) dilakukan pada elektroda karbon KTK dengan mengarahkan sinar-X ke permukaan sampel. Sinar-X tersebut akan didifraksikan oleh atom-atom yang berada pada kisi periodik. Sinar-sinar hamburan yang memiliki fase yang sama akan berinterferensi saling menguatkan. Detektor kemudian merekam pola sinar yang didifraksikan sehingga diperoleh pola difraksi sinar-X dari sampel. Jarak antara

kisi sampel dapat ditentukan berdasarkan persamaan Bragg.

Hasil yang diperoleh dari pengujian adalah intensitas relatif dan sudut hamburan (2θ) yang kemudian dianalisa dengan menggunakan aplikasi *Microcal Origin 3.5* Untuk mendapatkan gambar kurva digunakan *software* Sigma Plot 8.

2. Scanning Electron Microscopy

Karakterisasi morfologi serbuk karbon dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Karakterisasi SEM pada penelitian ini dilakukan bertujuan untuk melihat morfologi permukaan serbuk karbon, distribusi dan ukuran pori yang terbentuk pada serbuk KTK dengan perbesaran 500 dan 5000 kali. Sampel yang dikarakterisasi sebanyak 2 buah, yaitu sampel elektroda karbon tanpa surfaktan dan sampel dengan penambahan surfaktan SDS 1,5 M. Pengukuran SEM dilakukan menggunakan alat Hitachi S-3400N. Hasil pengukuran berbentuk gambar yang dibuat berdasarkan deteksi elektron sekunder (elektron pantul) yang muncul dari permukaan elektroda ketika dipindai dengan sinar elektron. Kemudian elektron sekunder ditangkap oleh detektor dan hasilnya diolah oleh program pada komputer.

3. Energi Dispersif sinar-X

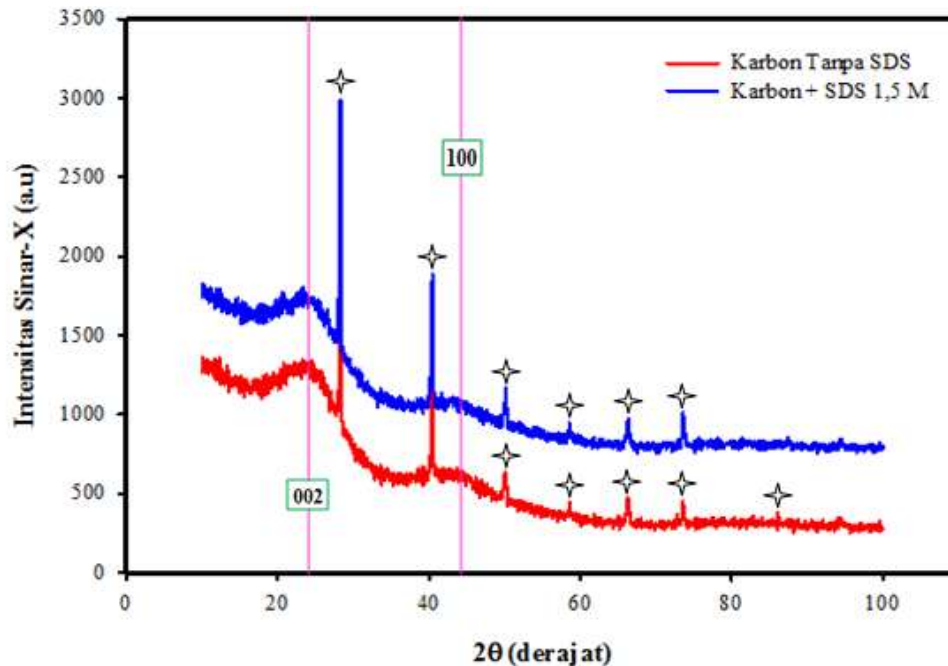
Energi Dispersif sinar-X (EDX) merupakan karakterisasi dengan menggunakan sinar-X yang diemisikan ketika material mengalami tumbukan dengan elektron dengan mengandalkan perangkat analisa secara semikuantitatif untuk menentukan kandungan unsur dalam sampel. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui komposisi yang terkandung pada permukaan elektroda KTK. Jumlah sampel yang diukur 2 buah yaitu sampel KTK tanpa surfaktan SDS dan sampel KTK menggunakan surfaktan SDS 1,5 M.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun hasil penelitian meliputi data pengukuran sudut kristalin menggunakan XRD, karakterisasi morfologi permukaan menggunakan SEM, dan kandungan unsur sampel KTK menggunakan EDX.

A. Analisa Hasil Difraksi Sinar-X

Kurva hubungan antara intensitas Sinar-X dan sudut difraksi sampel KTK untuk dua variasi yang dikarakterisasi menggunakan metode Difraksi Sinar-X ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pola Difraksi Sinar-X Karbon Tempurung Kelapa

Pola XRD pada Gambar 1 menunjukkan kehadiran puncak amorf dan kristalin pada sampel KTK. Setelah dilakukan karakterisasi, sampel KTK dengan variasi yang berbeda menunjukkan keberadaan dua puncak dengan pola difraksi sudut 2θ pada rentang 10° sampai 100° . Berdasarkan Gambar 1 terlihat bahwa kehadiran dua puncak amorf untuk kedua elektroda berada diantara sudut 2θ , 20° dan 48° . Sudut 2θ untuk puncak pertama dan puncak kedua sampel KTK tanpa SDS yaitu sebesar $24,03^\circ$ dan $43,86^\circ$, sedangkan sampel KTK menggunakan SDS 1,5 M berada pada sudut 2θ sebesar $24,30^\circ$ dan $46,06^\circ$. Sudut-sudut yang terbentuk tersebut menggambarkan posisi puncak yang sesuai dengan bidang hkl (002) dan (100) dengan struktur karbon amorf. Bentuk amorf dari KTK untuk masing-

masing sampel ditandai oleh kurva dengan bukit yang lebar dan puncak yang tumpul.

Adapun puncak tajam yang ditandai dengan bintang pada sudut $28,29^\circ$; $40,45^\circ$; $50,07^\circ$; $58,58^\circ$; $66,30^\circ$; $73,60^\circ$; $87,46^\circ$ untuk sampel karbon tanpa penambahan surfaktan dan dengan penambahan surfaktan SDS 1,5M pada sudut $28,29^\circ$; $40,45^\circ$; $50,10^\circ$; $58,54^\circ$; $66,34^\circ$; $73,58^\circ$ diindikasikan dimiliki oleh garam KCl (Kalium Klorida) yang berasal dari sisa pencucian sampel karbon. Hal ini dikarenakan kurang bersihnya proses pencucian sampel karbon sehingga masih menyisakan zat kalium dan klorin yang berasal dari aktivator KOH dan penetralan sampel menggunakan HCl. Sudut yang dihasilkan sesuai dengan Sudut 2θ yang menggambarkan jarak antar lapisan kisi (d_{hkl}) yang dipengaruhi oleh struktur

partikel dimana semakin besar sudut hamburan 2θ maka semakin kecil d_{hkl} yang dihasilkan. Pergeseran puncak pada kurva mengindikasikan d_{hkl} yang semakin kecil yang diwakili oleh sudut 2θ yang semakin besar.

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilakukan pengolahan data penghitungan

parameter kisi elektroda KTK seperti jarak antar kisi (d), lebar lapisan kisi (L_a), dan tinggi lapisan kisi (L_c) menggunakan program *Microcal Origin*. Nilai L_c dan L_a yang didapat dihitung berdasarkan persamaan 2.6 dan 2.7. Hasil pengolahan data XRD dari hasil fitting ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Parameter Kisi Karbon Tempurung Kelapa

Kode Elektroda	2θ (002)	2θ (100)	d_{002} (nm)	d_{100} (nm)	L_a (nm)	L_c (nm)
TANPA SDS	24,03	43,86	0,3699	0,2062	2,3032	1,0361
SDS 1,5 M	24,30	46,06	0,3658	0,1968	1,1727	0,9578

Berdasarkan data pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa besar d_{hkl} pada penambahan surfaktan mengalami penurunan dibandingkan d_{hkl} tanpa tambahan surfaktan. Sampel KTK dengan penambahan surfaktan SDS 1,5 M memiliki d_{002} yang sedikit lebih kecil dibandingkan sampel KTK tanpa penambahan surfaktan SDS yaitu 0,3658 nm untuk sampel SDS 1,5 M dan 0,3699 nm untuk sampel tanpa SDS. Sedangkan untuk sampel tanpa SDS memiliki d_{001} sebesar 0,2062 nm dan 0,1968 nm untuk sampel KTK dengan penambahan SDS 1,5 M. Jarak kisi yang lebih kecil pada sampel SDS 1,5 M menggambarkan bahwa jarak antar bidang kisi yang terdapat di dalam serbuk karbon tempurung kelapa semakin dekat.

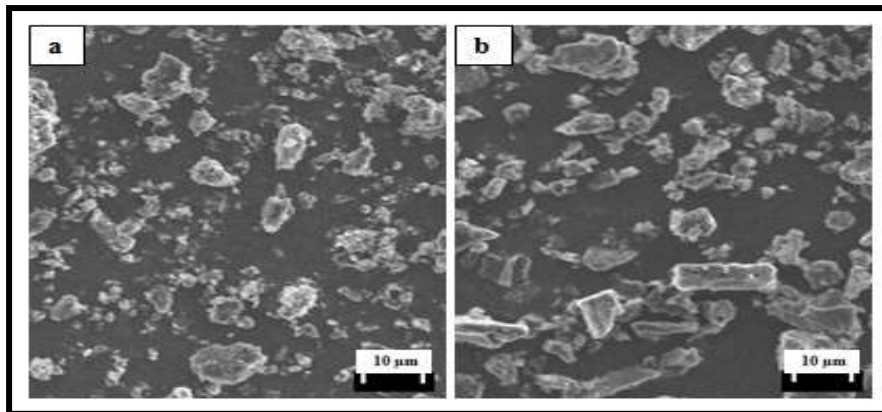
Selain itu, dari sudut 2θ dapat diketahui nilai L_a dan L_c . Semakin kecil nilai L_a dan L_c maka semakin kecil ukuran bidang kisi yang dihasilkan. Nilai d_{hkl} , L_a ,

dan L_c yang lebih kecil menggambarkan struktur partikel karbon yang lebih kecil

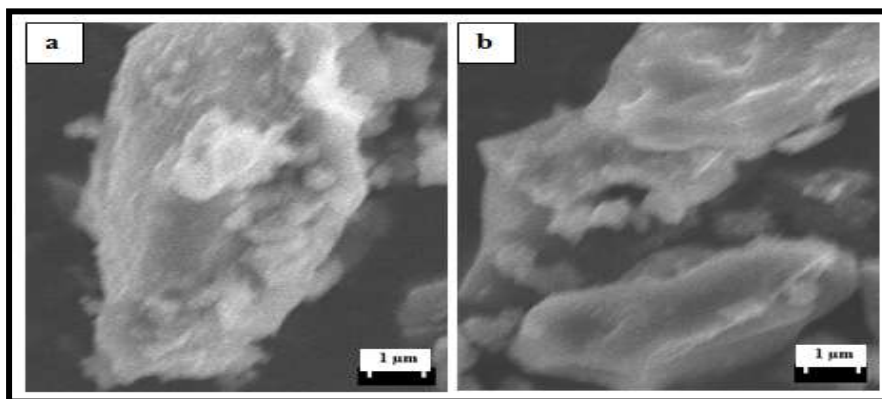
dibandingkan dengan sampel karbon yang d_{hkl} , L_a , dan L_c -nya lebih besar. Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai L_a dan L_c untuk sampel KTK dengan penambahan surfaktan SDS lebih kecil dibandingkan dengan nilai L_a dan L_c tanpa surfaktan SDS. Hal ini menunjukkan bahwa adanya penurunan ukuran partikel karena pengaruh dari perlakuan penambahan surfaktan SDS 1,5 M. Surfaktan telah mampu mengaktifkan tegangan permukaan partikel karbon sehingga ketika terjadi tumbukan pada proses *ball milling*, struktur partikel karbon dibuat lebih seragam dan ukuran partikel menjadi lebih kecil

B. Scanning Electron Microscopy

Hasil karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk sampel serbuk karbon dengan penambahan surfaktan SDS 1,5 M dan sampel karbon tanpa penambahan surfaktan pada perbesaran yang 500 X dan 1000 X ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3 berikut.



Gambar 2. Morfologi Serbuk KTK pada Perbesaran 500 X (a) dengan Penambahan Surfaktan SDS 1,5 M (b) tanpa Penambahan Surfaktan SDS



Gambar 3. Morfologi Serbuk KTK pada Perbesaran 5000 X (a) dengan Penambahan Surfaktan SDS 1,5 M (b) tanpa Penambahan Surfaktan SDS

Gambar 2 menunjukkan morfologi sampel KTK dengan perbesaran 500 X. Gambar 2a menunjukkan morfologi serbuk KTK dengan penambahan surfaktan SDS 1,5 M. Morfologi partikel karbon yang terbentuk memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan sampel karbon tanpa SDS seperti yang ditunjukkan Gambar 2b. Secara umum, partikel karbon yang teramati terdiri dari partikel kecil yang berukuran pada rentang 0,5-3,5 µm dan pecahan partikel yang lebih dominan berbentuk elips dengan ukuran partikel 3-12 µm. Selain itu juga terdapat partikel besar berukuran 24,90 x 16,27 µm. Sampel KTK tanpa SDS memiliki ukuran partikel yang lebih besar dan berbentuk pecahan-

pecahan pipih yang acak dengan ukuran 7,05 x 7,84 µm sampai 25,09 x 20,39 µm.

Gambar 3 memperlihatkan kondisi permukaan partikel karbon dengan perbesaran 5000X. Tidak terlihat adanya distribusi pori pada perbesaran ini karena proses pengambilan data dikhususkan untuk membandingkan distribusi pori berdasarkan daerah terang dan daerah gelap. Permukaan partikel karbon yang lebih padat akan mengalami tumbukan tidak elastis, sehingga elektron yang terionisasi lebih sedikit dan yang tertangkap oleh detektor juga sedikit sehingga yang dihasilkan adalah pola gelap. Sedangkan area permukaan partikel karbon yang memiliki banyak pori akan

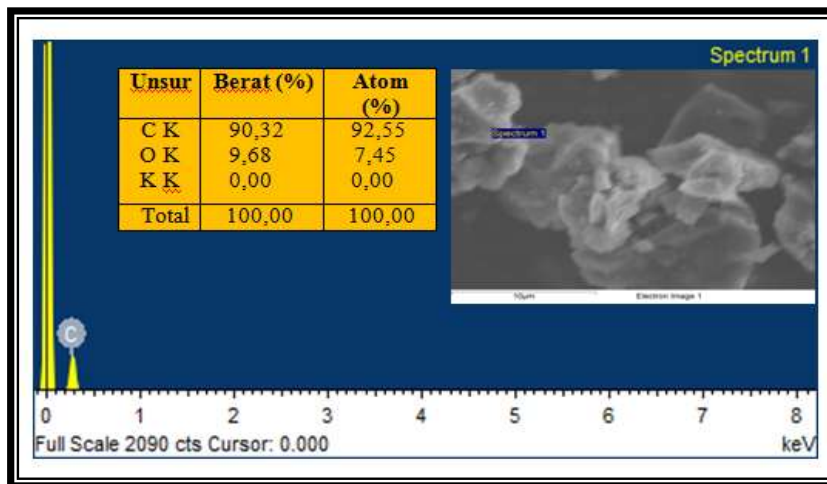
mengalami tumbukan elastis sehingga menghasilkan banyak elektron sekunder yang terionisasi, sehingga terbentuklah pola yang lebih terang.

Gambar 3a merupakan sampel karbon dengan penambahan surfaktan SDS menunjukkan permukaan yang tidak rata, adanya partikel-partikel kecil yang menutupi permukaan karbon, dan pola terang yang lebih banyak menandakan banyaknya pori yang terbentuk pada permukaan partikel karbon. Sedangkan Gambar 3b menunjukkan daerah gelap yang lebih banyak, sehingga diasumsikan bahwa partikel karbon tanpa surfaktan SDS memiliki susunan yang padat dengan distribusi pori yang lebih kecil. Hal ini

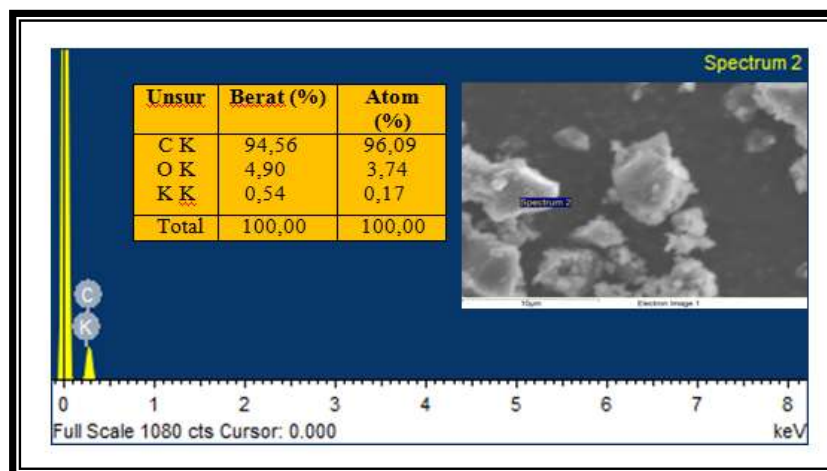
menunjukkan bahwa penambahan surfaktan dengan konsentrasi 1,5 M berpengaruh terhadap ukuran partikel dan membantu membentuk struktur pori pada sampel KTK.

C. Hasil Karakterisasi Energi Dispersif Sinar-X

Energi Dispersif Sinar-X (EDX) pada sampel (a) tanpa tambahan surfaktan SDS dan (b) dengan penambahan surfaktan SDS 1,5 M, kandungan berat unsur dan atomik dihasilkan dalam bentuk persen. Besarnya persentase unsur yang terkandung pada serbuk KTK tersebut dapat di lihat pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Hasil pengujian EDX sampel karbon tanpa penambahan surfaktan SDS.



Gambar 5. Hasil pengujian EDX sampel karbon dengan penambahan surfaktan SDS 1,5 M.

Perbandingan persentase kedua sampel terlihat bahwa karbon yang menggunakan surfaktan SDS 1,5 M memiliki kandungan berat karbon yang lebih besar dibandingkan dengan karbon tanpa tambahan surfaktan SDS. Selain itu dapat dilihat pula bahwa semakin besar kandungan berat karbon maka persentase atomik karbon yang dihasilkan semakin besar pula. penambahan surfaktan SDS berpengaruh terhadap kenaikan persentase berat dan atom Karbon. Karbon aktif juga mengandung unsur selain Karbon yang terikat secara kimia yaitu Oksigen. Hal ini disebabkan adanya kandungan oksigen dari bahan baku yang tertinggal akibat tidak sempurnanya karbonisasi atau dapat juga dikarenakan adanya ikatan pada proses aktivasi. Oksigen yang terkandung pada sampel karbon dengan penambahan surfaktan SDS 1,5 M sebesar 4,90 % sedangkan sampel karbon tanpa surfaktan SDS menghasilkan kandungan oksigen yang jauh lebih kecil yaitu 9,68 %.

Kandungan oksigen pada sampel karbon tanpa penambahan surfaktan SDS lebih besar dikarenakan oksigen dari aktivasi kimia masih terperangkap pada pori-pori karbon. Selain itu pada Gambar 5 terdapat unsur lain pada sampel karbon dengan penambahan surfaktan SDS 1,5 M seperti Kalium (K) yaitu sebesar 0,54 % yang merupakan kandungan mineral yang terdapat pada tempurung kelapa. penambahan surfaktan pada sampel KTK telah mempengaruhi persentase unsur yang terkandung sehingga menghasilkan kualitas karbon yang lebih baik dengan persentase berat yang lebih tinggi tanpa banyak unsur lain yang terkandung pada karbon aktif tersebut. Sehingga unsur lain tidak akan terlalu mempengaruhi nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan.

KESIMPULAN

Telah berhasil dibuat elektroda berbahan dasar karbon tempurung kelapa yang menggunakan penambahan surfaktan *Sodium Dodesil Sulfat* (SDS). Penambahan

surfaktan SDS 1,5 M terbukti dapat memperkecil ukuran butiran karbon yang ditandai dengan penurunan nilai jarak antar lapisan kisi (*d_{hkl}*), tinggi lapisan kisi (*L_a*) dan lebar lapisan kisi (*L_c*). Pengujian XRD menunjukkan bahwa elektroda KTK bersifat amorf dengan sudut 2θ berada pada rentang $24,036^{\circ}$ - $46,065^{\circ}$ yang menggambarkan keberadaan puncak (002) dan (001). Dominasi pori makro yang dihasilkan terdapat pada sampel karbon tanpa surfaktan SDS dengan ukuran berada pada rentang 0,58-1,27 μm . Partikel serbuk karbon dengan penambahan surfaktan SDS 1,5 M didominasi berbentuk elips dengan ukuran partikel kecil pada rentang 0,5-12 μm . Pengujian EDX menunjukkan bahwa sampel karbon dengan penambahan surfaktan SDS memiliki persentase karbon yang lebih tinggi yaitu 94,56 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kemenristek Dikti untuk Hibah Kompetensi yang berjudul “Nano Karbon Berbasis Limbah Biomassa sebagai Inti Elektroda Campuran untuk Superkapasitor” Tahun 2015 atas pendanaan yang diberikan melalui Dr. Erman Taer, M.Si.

DAFTAR PUSTAKA

- Darmawan, S., Pari, G., Sofyan, K. 2013. Optimasi Suhu Dan Lama Aktivasi Dengan Asam Phosfat Dalam Produksi Arang Aktif Tempurung Kemiri. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan*. Vol. 2(2), pp. 51-56.
- Gao, B., Yuan, C. Z., Su, L. H., Chen, L., Zhang, X. G. 2009. Nickel Oxide Coated on Ultrasonically Pretreated Carbon Nano Tube for Supercapacitor. *Journal Solid State Electrochemical* 13:1251.
- Kim, Y.-J., Lee, B.-J., Suezaki, H., Chino, T., Abe, Y., Yanagiura, T., Park.

- K.C. dan Endo, M. 2006. Preparation and characterization of bamboo-based activated carbons as electrode materials for Electrical Double Layer Capacitors. *Carbon* 44: 1592-1595.
- Nandhini R Nandhini, P.A. Mini, B. Avinash, S.V. Nair, K.R.V. Subramanian. 2012. Supercapacitor Electrodes Using Nanoscale Activated Carbon From Graphite By Ball Milling. *Elseiver* 87:165–168.
- Pambayun Gilar S, Remigius Y.E. Yulianto, M. Rachimoellah, Endah M.M. Putri, 2013. Pembuatan Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa dengan Aktivator $ZnCl_2$ dan Na_2CO_3 sebagai Adsorben untuk Mengurangi Kadar Fenol dalam Air Limbah. *Jurnal Teknik Pomits* 2:2337-3539.
- Rufford, T. E., Hulicova-Jurcakova, D., Khosla, K., Zhu, Z. dan Lu, G. Q. 2010. Microsstructure and electrochemical double-layer capacitance of carbon electrodes prepared by zinc chloride activation of sugar cane bagasse. *Journal of Power Sources* 195: 912-918.
- Sari, F.P. 2014. Efek Variasi Waktu Tunggu Ball Milling Terhadap Karakteristik Elektro Kimia Sel Super Kapasitor Berbasis Karbon. Skripsi Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Riau, Pekanbaru.