

SINTESIS KARBON BERPORI BERBASIS DAUN JERUK NIPIS (*Citrus Aurentifolia S.*) SEBAGAI MATERIAL ELEKTRODA UNTUK APLIKASI SUPERKAPASITOR

Erman Taer^{1,*}, Melda Riyani Butet¹, Apriwandi¹, Rika Taslim²

¹Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

²Jurusan Teknik Industri FST Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim

*E-mail korespondensi: erman.taer@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

In this study, the electrode material was successfully made from activated carbon based on lime leaf biomass with variations in physical activation temperature of 800°C, 850°C, and 900°C for supercapacitor applications. Porous carbon was synthesized through pre-carbonization steps, chemical activation using ZnCl₂ activator, carbonization using N₂ gas at a temperature of 600°C, and physical activation using CO₂. Density analysis confirmed the potential for the DJN-850 sample to have a high shrinkage of 52.24%. X-ray diffraction shows an amorphous structure of carbon characterized by broadening peaks at 22° and 24°. Scanning electron microscopy analysis performed that the optimized sample possessed rich meso-macropores followed by a high carbon content of 90.25%. The Fourier spectroscopic transformation test results identified the presence of functional groups O-H, C-O, C-H, C=C, and C≡C in the sample. The precursor activated at 850°C possessed a specific surface area of 675.129 m²/g with adjusting micro-mesopore. Furthermore, the electrochemical properties of the samples were measured using cyclic voltammetry and galvanostatic charge-discharge with specific capacitances of 144.14 F/g and 189 F/g, respectively.

Keywords: Biomass Precursor, *Citrus Aurentifolia S.*, Carbon Porous, Electrode Material, Supercapacitor.

ABSTRAK

Pada penelitian ini telah berhasil dibuat bahan elektroda dari karbon aktif berbasis biomassa daun jeruk dengan variasi suhu aktivasi fisika 800°C, 850°C, dan 900°C untuk aplikasi sel superkapasitor. Sintesis karbon berpori dilakukan melalui tahapan pra-karbonisasi, aktivasi kimia menggunakan aktivator ZnCl₂, karbonisasi menggunakan gas N₂ pada suhu 600°C, dan aktivasi fisika menggunakan CO₂. Analisis densitas mengkonfirmasi potensi sampel DJN-850 yang memiliki susut yang tinggi sebesar 52,24%. Difraksi sinar-X menunjukkan struktur karbon amorf yang ditandai dengan puncak lebar pada sudut 22° dan 24°. Analisis mikroskop elektron pemindaian menunjukkan bahwa sampel yang dioptimalkan menunjukkan mesopori yang kaya diikuti oleh kandungan karbon yang tinggi sebesar 90,25%. Hasil uji transformasi spektroskopi Fourier mengidentifikasi adanya gugus fungsi O-H, C-O, C-H, C=C, dan C≡C dalam sampel. Prekursor yang diaktifkan pada 850°C memiliki luas permukaan spesifik 675,129 m²/g dengan mikro-mesopori yang dapat disesuaikan. Selanjutnya, sifat elektrokimia sampel diukur menggunakan voltametri siklik dan pelepasan muatan galvanostatik dengan kapasitansi spesifik masing-masing 144,14 F/g dan 189 F/g.

Kata kunci: Prekursor Biomassa, *Citrus Aurentifolia S.*, Karbon Berpori, Material Elektroda, Supercapacitor.

Diterima 09-08-2022 | Disetujui 21-02-2023 | Dipublikasi 31-03-2023

PENDAHULUAN

Evolusi saat ini dalam industri dan teknologi berdampak pada sebagian besar sektor, dan

rutinitas sehari-hari secara global yang menyebabkan kebutuhan akan energi juga semakin meningkat terutama energi listrik.

Energi listrik merupakan salah satu penunjang kebutuhan masyarakat dalam segala aspek kehidupan, misalnya penggunaan *smartphone*, laptop, komputer sebagai alat komunikasi dan pembelajaran. Kebutuhan akan energi yang lebih besar ini memunculkan masalah penyediaan energi dimasa depan yang menjadi perhatian di seluruh penjuru dunia karena bagaimanapun juga kesejahteraan manusia dalam eramodern berkaitan erat dengan jumlah dan mutu energi yang dimanfaatkan. Khususnya bagi negara berkembang seperti Indonesia penyediaan energi alternatif seperti energi listrik merupakan faktor yang sangat penting dalam dalam mendorong pembangunan [1].

Superkapasitor merupakan piranti penyimpanan energi listrik yang terdiri dari elektroda, elektrolit, separator dan pengumpul arus. Kapasitas energi yang dapat disimpan oleh superkapasitor bergantung pada elektroda dan elektrolit yang digunakan karena proses penyimpanan energi dan daya terjadi karena adanya interaksi elektron pada permukaan elektroda berpori dan ion yang dihasilkan oleh elektrolit [2]. Karbon aktif adalah salah satu jenis bahan yang secara luas telah digunakan sebagai bahan elektroda untuk superkapasitor karena memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi, ketahanan kimia, sebagai penghantar listrik yang baik dan mudah didapat dengan harga yang terjangkau [3-5].

Penelitian ini menggunakan bahan dasar daun jeruk nipis (*Citrus Aurantifolia S.*) sebagai bahan dasar pembuatan elektroda karbon superkapasitor. Tanaman Jeruk Nipis merupakan tanaman yang memiliki aroma kuat yang termasuk kedalam suku jeruk-jerukan yang tersebar di Asia dan Amerika Tengah, menurut sejarah, sentral utama asal jeruk nipis adalah Asia Tenggara termasuk Indonesia. Hampir seluruh bagian jeruk nipis dapat dimanfaatkan seperti bagian batang, bunga, dan buah jeruk nipis yang banyak digunakan mengobati berbagai penyakit yakni menurunkan panas, obat batuk, menghilangkan ketombe pada rambut, influenza, antiinflamasi, antiseptik, dan obat jerawat [6], sedangkan

daun jeruk nipis masih kurang dimanfaatkan. Salah satu manfaat dari daun jeruk nipis adalah sebagai antibakteri. Daun jeruk nipis mengandung alkaloid, flavonoid, terpenoid, saponin, tanin, dan steroid yang merupakan senyawa bioaktif [7] dan minyak atsiri dengan komposisi antara lain *limonene*, *geranial*, *neral* dan *geraniol* [8]. Selain itu, terdapat dalam semua tanaman hijau terdapat kandungan flavonoid, selulosa, hemiselulosa dan lignin yang apabila di panaskan dengan suhu tinggi dapat menghasilkan karbon [9].

Pemanfaatan jeruk nipis sebagai dasar pembuatan elektroda elektroda superkapasitor merupakan inovasi terbaru penggunaan biomassa organik dengan berfokus pada variasi suhu aktivasi fisika 800°C, 850°C dan 900°C. Variasi suhu dipilih berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Taer *et al.*, 2018 dengan biomassa batang pisang menggunakan variasi suhu aktivasi fisika 800°C, 850°C dan 900°C, serta 950°C dengan hasil maksimum suhu optimum 900°C [10]. Penggunaan aktivator pada penelitian ini adalah ZnCl₂, Penggunaan ZnCl₂ dilakukan karena ZnCl₂ dapat mengurai senyawa selain karbon dan menyisak karbon yang cukup tinggi. Beberapa penelitian terdahulu menggunakan aktivator ZnCl₂ sebagai bahan pengaktif pembuatan elektroda karbon seperti pada biomassa ampas tahu [11] dan serat sabut kelapa [12] dengan konsentrasi 0,5 M menghasilkan nilai kapasitansi tertinggi sebagai referensi. Pembuatan karbon aktif berbahan biomassa dari daun jeruk nipis ini diharapkan dapat menghasilkan elektroda superkapasitor dengan kapasitansi tinggi serta menambah nilai guna dari daun jeruk nipis.

METODE PENELITIAN

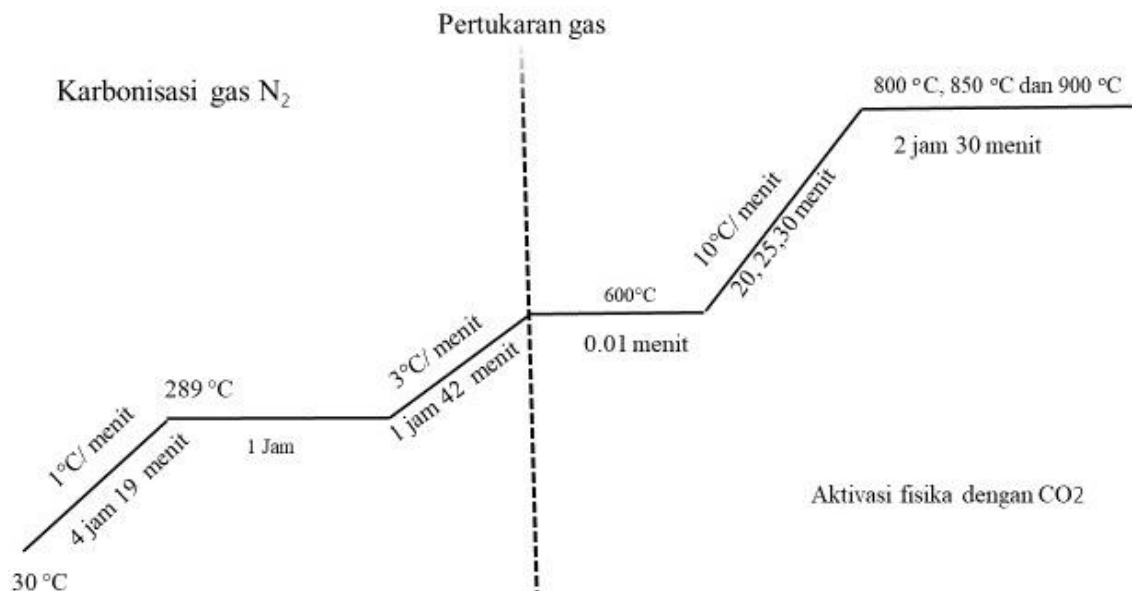
Preparasi Karbon Berpori dari Daun Jeruk Nipis

Daun jeruk nipis diperoleh dari ladang pertanian tradisional di pekanbaru yang kemudian dilakukan penjemuran dibawah sinar matahari selama 3 – 4 hari. Setelah itu sampel

di pra-karbonisasi menggunakan oven bersuhu 250°C selama 2,5 jam, dilanjutkan dengan proses penggilingan dan penghalusan serta pengayakan sehingga dihasilkan sampel dalam bentuk serbuk yang berukuran seragam 60 µm.

Sampel tersebut selanjutnya diaktivasi menggunakan aktivator ZnCl₂ 0,5 M

menggunakan alat hidrolik press. Tahap selanjutnya dilakukan aktivasi fisika, dengan menggunakan gas serapan CO₂ dengan memvariasikan suhu pada 800°C, 850°C dan 900°C. Ilustrasi proses karbonisasi aktivasi dan aktivasi fisika dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses karbonisasi dan aktivasi fisika.

Karakterisasi Sel Superkapasitor

Pengukuran densitas merupakan salah satu faktor yang berperan penting pada keunggulan karbon aktif sebagai elektroda superkapasitor. Pengukuran densitas dilakukan menggunakan timbangan digital dan jangka sorong untuk menentukan nilai massa dan diameter serta ketebalan pelet karbon. Uji densitas dilakukan setelah pencetakan pelet dan setelah pembakaran (karbonsasi dan aktivasi fisika).

Karakterisasi difraksi sinar-X bertujuan untuk mengetahui ukuran kristal, parameter kisi dan fasa kristalin pada elektroda karbon. menggunakan Difraktometer tipe *X-pert powder analytical* dengan sumber sinar anoda Cu dan panjang gelombang λ 15,406 nm dan sudut difraksi yang digunakan adalah 2θ yaitu pada rentang sudut 100 sampai dengan 1000.

Pengujian Mikroskop Pemindai Elektron dilakukan untuk mengetahui bentuk morfologi permukaan elektroda karbon dan ukuran pori serta bentuk serbuk karbon aktif dari daun jeruk

nipis. SEM merupakan alat yang mampu memberikan gambar yang jelas. Elektron ditembakkan ke arah sampel kemudian sampel akan mengeluarkan elektron baru kemudian diterima dan dideteksi oleh detektor. Hasil pengukuran SEM didapat berupa bentuk morfologi, distribusi pori dan elektroda karbon Daun Jeruk Nipis. Pengukuran dilakukan menggunakan alat *SUPRA* seri S-3400 N.

Energi difersif sinar-X digunakan untuk mengetahui kandungan unsur Serta mengetahui komposisi yang terkandung pada permukaan elektroda karbon Pengukuran EDS menghasilkan komposit unsur elektroda karbon. Pengukuran dilakukan menggunakan alat *JEOL-JSM6360LA*.

Karakterisasi sampel daun jeruk nipis menggunakan spektroskopi *Fourier-transform infrared* (FTIR) bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi ikatan atom karbon, untuk mengetahui tingkat keterbasaan sampel.

Pengukuran menggunakan serapan gas N₂ bertujuan untuk mengetahui luas permukaan.

Alat yang digunakan dalam pengujian sampel adalah Quatachrome instrument Vertion 2.2 pada suhu konstan yaitu 77K. Pengujian dilakukan di Laboratorium Universitas Islam Indonesia.

Sifat elektrokimia elektroda dapat diukur dengan menggunakan metode *cyclic voltammetry* (CV) dilakukan di Laboratorium Fisika Material dan Nanoteknologi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau dengan menggunakan alat *physics CV UR Rad-Er 5841* dengan laju scan 1mV/s dan potensial sebesar 0 – 1 V menggunakan sistem dua elektroda dalam larutan H₂SO₄.

Pengukuran kurva Galvanostatik *charge-discharge* dilakukan dalam sistem elektrokimia dengan cara menghitung kapasitansi superkapasitor. Metode Galvanostatik dimulai dengan elektroda direndam larutan elektrolit H₂SO₄ selama 48 jam kemudian dirangkai menjadi rangkaian sel superkapasitor dan diukur menggunakan alat CD UR Red-ER 2018 dengan beda potensial 0 – 1 V. Selanjutnya data yang diperoleh diolah melalui aplikasi sigma plot 12.5.

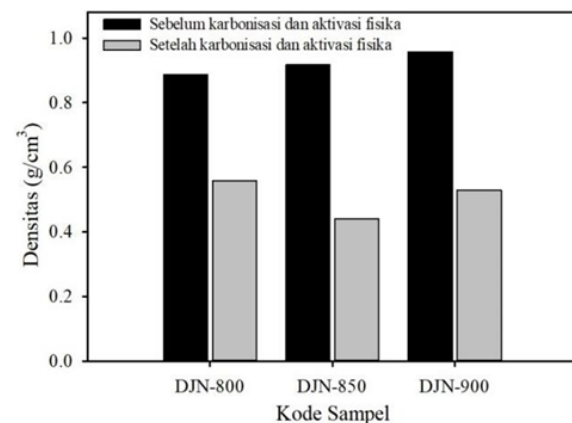
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Sifat Fisis Elektroda Karbon

Analisa Densitas

Gambar 2 menunjukkan adanya penyusutan massa sebelum dan setelah karbonisasi dan aktivasi fisika yang cukup signifikan pada semua sampel. Perubahan densitas dipengaruhi oleh aktivasi kimia, karbonisasi dan aktivasi fisika [13]. Proses karbonisasi dari 30°C hingga 600°C bertujuan untuk mengurangi kandungan volatil dan menghasilkan kandungan karbon yang lebih tinggi [14]. Selain itu, penguapan bahan non karbon menyebabkan pelebaran pori dan menghasilkan pori-pori elektroda. Pori-pori yang terbentuk tidak sempurna pada proses karbonisasi akan diatur kembali pada proses aktivasi fisika menggunakan suhu yang lebih tinggi [15] sehingga densitas mengalami penurunan.

Penyusutan yang terjadi pada elektroda karbon dapat menyebabkan penurunan pada densitas elektroda karbon [16]. Proses aktivasi fisika dilakukan pada suhu 600°C hingga suhu tinggi yang bervariasi antara lain 800°C, 850°C, dan 900°C menggunakan gas CO₂ dengan laju alir 10°C/menit. Proses ini berperan dalam mengembangkan pori yang relatif sempit [10].



Gambar 2. Pola difraksi sinar-X untuk elektroda karbon jeruk nipis.

Penyusutan densitas pada suhu 800°C mengindikasikan mulai terjadinya pembentukan pori pada elektroda karbon. Penambahan suhu aktivasi fisika pada suhu 850°C menyebabkan penyusutan densitas elektroda karbon semakin besar yang mengindikasikan kombinasi pori mikro dan pori makro yang sudah terbentuk yang meningkatkan porositas secara drastis [17]. Setelah penambahan suhu lebih lanjut ke 900°C didapatkan nilai densitas yang lebih besar dari densitas pada suhu 850°C, hal ini dikarenakan pori dan unsur karbon yang telah terbentuk pada suhu 850°C kembali terurai. Selain itu peningkatan pada suhu yang lebih tinggi dapat menyebabkan erosi pada dinding karbon sehingga merusak pori yang terbentuk sebelumnya [18].

Analisa Difraksi Sinar-X

Hasil karakterisasi ini diperoleh data jarak antar lapisan, tinggi, dan lebar sampel dengan menguji pada sudut hamburan 2θ dengan rentang 10° sampai 60°. Sudut difraksi

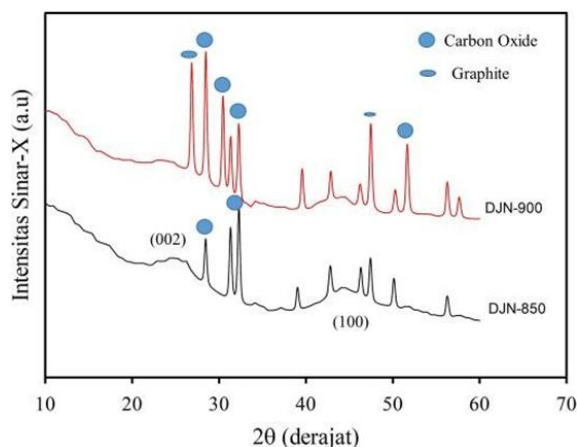
karakteristik 2θ pada bidang refleksi 100 dan 002 dan pengolahan data serta perhitungan dimensi mikrokristalin pada sampel DJN-850

dan DJN-900 dilakukan menggunakan Fitting menggunakan software Microcal Oringin terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data parameter kisis elektroda karbon.

Kode Sampel	$2\theta_{002}$ ($^{\circ}$)	$2\theta_{100}$ ($^{\circ}$)	d_{002} (\AA)	d_{100} (\AA)	L_c (\AA)	L_a (\AA)
DJN-850	22,061	44,087	4,026	2,052	5,687	35,108
DJN-900	25,242	45,326	3,525	1,999	6,559	38,581

Peningkatan suhu aktivasi dari 850°C menjadi 900°C menyebabkan perubahan nilai L_c dan L_a yang menghasilkan perubahan struktur pada sampel. Dimensi mikrokristalin yang dihasilkan berkaitan dengan sifat mikroporositas pada sampel dimana nilai L_c yang rendah akan mempengaruhi luas permukaan sampel. Berdasarkan data yang diperoleh sampel DJN-900 memiliki nilai L_c sebesar $6,559 \text{ \AA}$ dan nilai L_c terendah terdapat pada sampel DJN-850 yakni sebesar $5,687 \text{ \AA}$.



Gambar 3. Pola difraksi sinar-X untuk elektroda karbon jeruk nipis.

Pada Gambar 3 pola menunjukkan puncak landai yang terletak hkl yang berbeda yaitu bidang (002) dan (100). Lebih lanjut Gambar 3 juga mengonfirmasi pada sampel DJN-850 dan DJN-900 terdapat adanya dua puncak landai pada kisaran sudut hamburan antara 22° hingga 25° dan 42° hingga 45° (JCPDS No. 41-1487) yang menunjukkan struktur amorf yang merupakan sifat alami karbon untuk sampel biomassa dengan adanya kristal dalam jumlah yang kecil [19]. Kontribusi struktur kristal dalam jumlah kecil diperoleh dari senyawa

carbon oxide dan graphite pada sampel. Pada DJN-900 ditemukan puncak sedikit menyempit di sudut sekitar 26° yang menunjukkan struktur kristal yang berasal dari graphite [20].

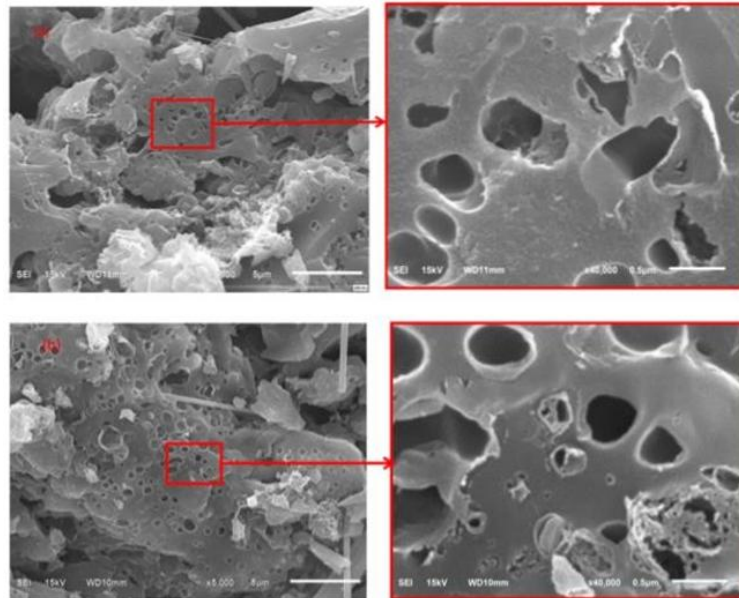
Analisa Mikroskop Pemindai Elektron

Tampilan struktur pori pada sampel terdapat pada Gambar 4. Secara umum morfologi pada semua sampel berbentuk seperti spons dengan sebaran pori dengan ukuran yang beragam dan tidak beraturan. Struktur pori ini terbentuk pada saat aktivasi fisika yang dilakukan pada sampel [13]. Gambar 4 (a) menampilkan morfologi dari sampel DJN-850 dengan perbesaran 5000 kali dan 40.000 kali. Pada perbesaran 5000 kali ditemukan partikel pori makro dengan ukuran berkisar antara $229 - 3039 \text{ nm}$ yang berkontribusi pada difusi ion pada antar muka elektroda atau elektrolit. Selanjutnya pada perbesaran 40.000 kali ditemukan pori dengan struktur hirarki 3 dimensi yang terlihat jelas pada permukaan elektroda karbon. Struktur ini terbentuk dari kombinasi pori mikro dengan ukuran $41 - 57 \text{ nm}$ dan pori mesopori berukuran berkisar antara $52 - 646 \text{ nm}$. Kondisi ini menyebabkan mempercepat difusi ion yang meningkatkan kinerja elektrokimia elektroda sampel DN-850 [21]. Morfologi struktur hirarki yang terbentuk dari senyawa volatil yang menguap dari bahan dasar elektroda karbon [22].

Penambahan suhu aktivasi fisika menjadi 900°C pada sampel DJN-900 menghasilkan struktur pori secara umum tidak jauh berbeda dengan sampel DJN-850. Hal ini terlihat pada Gambar 4 (b) yang menunjukkan tampilan morfologi seperti spoons, namun dengan ukuran pori lebih besar. Pada perbesaran 5000

kali terdapat pori makro yang berukuran cukup besar yakni 392 – 3152 nm. Pori makro yang terbentuk pada sampel berperan sebagai jalur ion-ion elektrolit untuk keluar masuk, namun makropori tidak dapat berkontribusi secara maksimal dalam meningkatkan nilai kapasitansi

spesifik sampel juga didapatkan berukuran 41 – 57 nm dan pori meso 57 – 848 nm. Berdasarkan hasil mikroskop pemindai elektron ini akan dikonfirmasi lebih lanjut pada analisis serapan gas N₂.



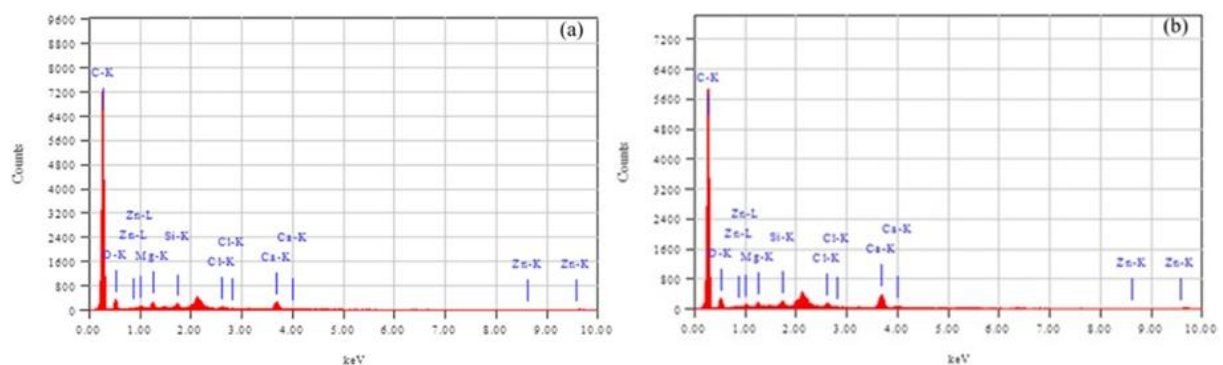
Gambar 4. Pola difraksi sinar-X untuk elektroda karbon jeruk nipis.

Analisa Energi Dispersif Sinar-X

Berdasarkan peningkatan suhu aktivasi fisika pada sampel dari 850°C hingga 900°C pada sampel menunjukkan kehadiran beberapa unsur kandungan seperti Magnesium (Mg), Silika (Si), Klorin (Cl), Kalsium (Ca), seng (Zn) dengan presentase rendah yang dihasilkan dari kandungan bahan dasar dari daun jeruk nipis seperti pada Gambar 5. Selain itu diketahui juga terdapat peningkatan unsur heteroatom (O₂) dan penurunan presentase karbon yang relatif rendah dari 90,25 ke 89,68.

Hasil yang menunjukkan kandungan unsur karbon yang hampir serupa yakni batang pisang 88,76 [10] dan kulit durian 90,68 [23].

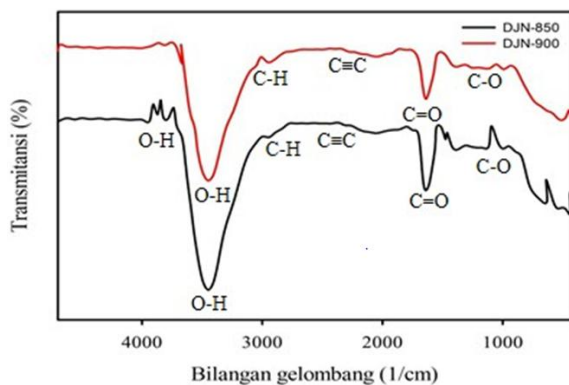
Sebagaimana dikonfirmasi peningkatan unsur karbon dalam sampel dapat meningkatkan sifat elektrokimia yang baik untuk bahan elektroda superkapasitor. Unsur oksigen yang terdapat pada sampel berperan sebagai dopping heteroatom pada elektroda karbon. Pembahasan mengenai perilaku ini akan dibahas lebih lanjut pada analisa sifat elektrokimia selanjutnya.



Gambar 5. Hasil pengujian energi dispersif sinar-X (a) DJN-850 dan (b) DJN-900.

Analisa Spektroskopi Inframerah Fourier

Hasil evaluasi ini dilakukan dengan mengukur puncak serapan pada spektrum dengan rentang panjang gelombang 4500 hingga 450 cm^{-1} . Pada Gambar 6 menampilkan spektrum hasil pengukuran FTIR pada sampel DJN-850 dan DJN-900. Grafik menampilkan visualisasi spektrum sampel DJN-850 dan DJN-900 yang memperlihatkan pola hubungan gelombang dan transmitansi. Hasil dari pengukuran ini diperoleh spektrum sampel yang secara umum menampilkan tren data yang hampir sama, dengan beberapa puncak serapan yang mencirikan suatu ikatan.



Gambar 6. Spektrum pengukuran spektroskopi inframerah fourier DJN-850 dan DJN-900.

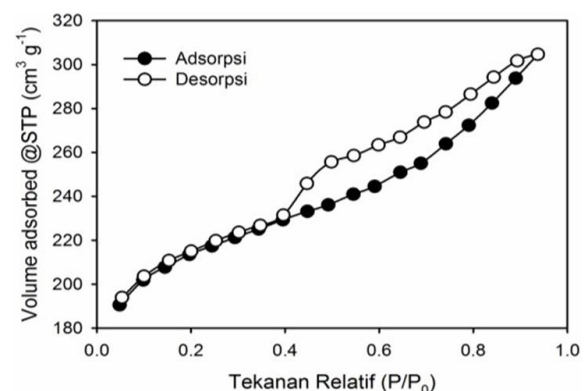
Serapan pada bilangan gelombang 2945,14 cm^{-1} dan 2961,23 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus fungsi metil (C-H) [24]. Serapan pada bilangan gelombang 1048,26 cm^{-1} dan 1101,03 cm^{-1} mencirikan gugus fungsi (C-O). Gugus karbonil dan hidroksil ini memiliki sifat polar yang menyebabkan karbon aktif bersifat hidrofilik dan meningkatkan keterbasaan karbon aktif [25]. Serapan berikutnya ditemukan pada rentang panjang bilangan 2400 – 2100 cm^{-1} yang merupakan ciri gugus fungsi alkuna $\text{C}\equiv\text{C}$ dan pada rentang bilangan 1500 – 1680 cm^{-1} mencirikan gugus $\text{C}=\text{C}$ [26].

Pada pola gugus fungsi ini terbentuk dari pelepasan unsur O dan H yang terikat pada unsur C sebelum proses karbonisasi. Ikatan rangkap karbon juga mengindikasikan semakin murninya unsur C yang didapatkan. Penemuan pola gugus fungsi $\text{C}\equiv\text{C}$ yang di peroleh dari

pengukuran spektroskopi inframerah Fourier pada sampel DJN-850 dan DJN-900 telah membuktikan bahwa daun jeruk nipis memiliki kandungan karbon murni yang cukup tinggi.

Analisa Serapan Gas N_2

Pengukuran sampel elektroda karbon aktif melalui adsorpsi dan desorpsi gas N_2 dilakukan untuk mengetahui volume pori (VBH), distribusi ukuran pori (BJH) dan luas permukaan (SBET) berdasarkan banyaknya gas N_2 yang terserap [27]. Gambar 7 mengonfirmasi sampel DJN-850 termasuk karakteristik isotermal tipe IV sesuai dengan klasifikasi International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) [28]. Pada Gambar 7 terlihat terjadi peningkatan besar pada tekanan relatif rendah ($P/P_0 > 0.1$) mengidentifikasi mikroporositas yang tinggi dengan loop histeresis berada pada kisaran tekanan relatif (P/P_0) 0,4 - 0,9 yang menunjukkan bahwa sampel DJN-850 memiliki sebaran partikel mikro-mesoporinamun lebih dominan mesopori [28, 29]. Penggunaan suhu aktivasi fisika 850°C berperan dalam pembentukan pori, volume penyerapan dan luas permukaan yang dihasilkan.



Gambar 7. Kurva serapan gas N_2 karbon aktif DJN-850.

Berdasarkan kurva diketahui beberapa parameter untuk sampel DJN-850 seperti luas permukaan (SBET) sebesar 675,129 m^2/g , luas permukaan mikro (S_{mikro}) 506,498 m^2/g , luas permukaan meso (S_{meso}) 168,631 m^2/g , Volume total sebesar 0,4725, volume mikro (V_{mikro})

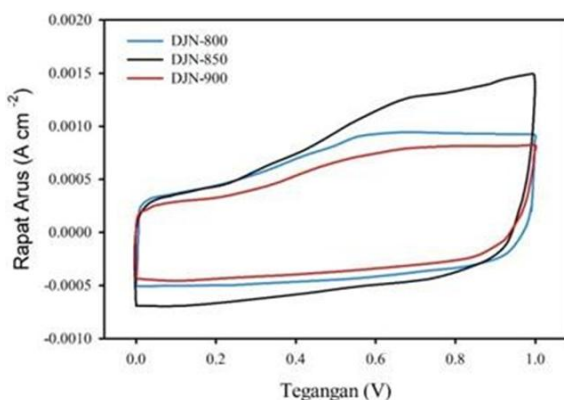
0,2592, volume meso 0,2133, dan pori rata-rata sebesar 1,399 nm. Luas permukaan yang cukup besar ini akan meningkatkan serapan yang dihasilkan yang berpengaruh pada difusi ion.

Analisa Sifat Elektrokimia Elektroda Karbon

Analisa Siklik Voltametri

Kurva yang di hasilkan dalam pengujian siklik voltametri merupakan hubungan dengan rapat arus dan tegangan yang berbentuk seperti persegi panjang tidak sempurna. Luas kurva yang dihasilkan mengindikasikan besarnya nilai kapasitansi spesifik, semakin besar kurva maka nilai kapasitansi spesifik yang di hasilkan semakin besar pula [30].

Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat grafik hubungan antara rapat arus dan tegangan pada sampel DJN-800, DJN-850, DJN-900. Bentuk kurva semua sampel memperlihatkan bentuk kurva persegi panjang tidak sempurna dari arus pengisian dan pengosongan elektroda yang menunjukkan tipe ideal superkapasitor elektrokimia lapis ganda listrik untuk elektroda karbon aktif [31].



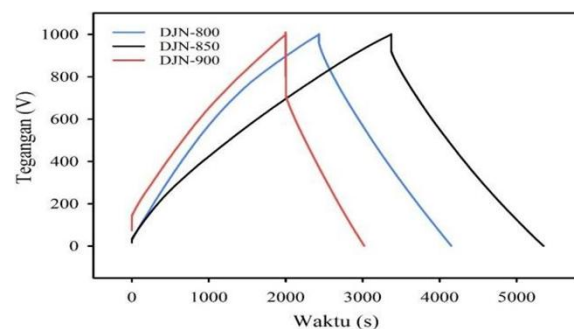
Gambar 8. Kurva siklik voltametri elektroda daun jeruk nipis.

Proses pengisian dan pengosongan elektroda karbon terjadi saat tegan 0 – 1 V. Berdasarkan Gambar 8. menunjukkan sampel DJN-900 memiliki luas kurva terkecil dan DJN-850 memiliki luas kurva terbesar. Lebih lanjut luas kurva mengindikasikan sampel DJN-850 memiliki nilai kapasitansi spesifik tertinggi

yang dipengaruhi oleh ion-ion. Perbedaan kurva siklik voltametri yang terlihat pada sampel DJN-800, DJN-850, dan DJN-900 karena adanya perbedaan struktur pori elektroda karbon.

Analisa Galvanostatik Charge Discharge

Hasil evaluasi pengujian menggunakan alat Galvanostatik pengisian dan pengosongan CD UR Red-ER 2018 dengan arus konstan 1 A. Sifat elektrokimia dari daun jeruk nipis dievaluasi dengan dua elektroda karbon yang direndam larutan elektrolit 1 M H_2SO_4 menampilkan kurva seperti Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Galvanostatik charge discharge elektroda daun jeruk nipis.

Grafik charge discharge elektroda daun jeruk nipis pada arus konstan 1 A dengan laju pemindaian 1 mV/s berupa segitiga sama kaki yang mengindikasikan sifat lapis ganda listrik normal [32]. Berdasarkan Gambar 9 dapat dilihat kurva pengisian dan pengosongan paling lama adalah sampel DJN-850 dibandingkan dengan sampel lainnya. Hal ini sesuai dengan profil sifat lapis ganda listrik normal, serta menunjukkan sampel DJN-850 memiliki nilai kapasitansi maksimum.

KESIMPULAN

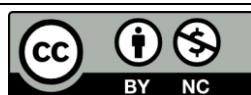
Pembuatan elektroda karbon aktif berbahan dasar daun jeruk nipis berhasil dilakukan, dengan aktivator $ZnCl_2$ 0,5 M dan variasi suhu aktivasi fisika untuk aplikasi superkapasitor. Analisis struktur mikrokristalin elektroda karbon menunjukkan struktur amorf elektroda karbon dengan dua puncak lebar pada sudut 2θ sebesar

22° dan 44°. Analisis morfologi permukaan elektroda karbon berbentuk spons dengan ukuran pori di dominasi oleh pori makropori dan mesopori. Hasil analisis energi Dispersif sinar-X menunjukkan sampel memiliki kandungan tertinggi karbon sebesar 90,25 dan magnesium (Mg), silika (Si), klorin (Cl), kalsium(Ca), dan seng (Zn). Analisis luas permukaan dari elektroda karbon DJN-850 menghasilkan luas permukaan sebesar 675,129 m²/g. Hasil dari karakterisasi sifat elektrokimia elektroda sel superkapasitor menggunakan siklik voltametri dan Galvanostatik Charge discharge didapatkan bahwa sampl DJN-850 memiliki nilai kapasitansi spesifik tertinggi sebesar 141,4 F/g dan 189 F/g. Hasil analisis terhadap elektroda karbon melalui sifat fisis dan elektroda karbon menunjukkan bahwa sampel DJN-850 memiliki potensi terbaik dibanding sampel DJN-800 dan DJN-900, sehingga dapat ditarik kesimpulan suhu aktivasi optimum aktivasi fisika dalam pembuatan elektroda karbon untuk aplikasi sel superkapasitor.

REFERENSI

- Hu, C. (2008). *Fluid coke derived activated carbon as electrode material for electrochemical double layer capacitor*. Thesis, University of Toronto.
- Taer, E., Syech, R., & Taslim, R. (2015). Sifat elektrokimia superkapasitor menggunakan metode charge discharge untuk elektroda karbon dari kayu karet. *Respiratory University of Riau*.
- Babel, K., & Jurewicz, K. (2004). KOH activated carbon fabrics as supercapacitor material. *J. Phys. Chem. Solids*, **65**(2-3), 275–280.
- Fellman, B. A., Atieh, M., & Wang, E. N. (2010). Carbon-based electric double layer capacitors for water desalination. *Int. Conf. Nanochannels, Microchannels, and Minichannels*, **54501**, 275–279.
- Aripin, H., et al. (2010). Sago waste based activated carbon film as an electrode material for electric double layer capacitor. *Open Mater. Sci. J.*, **4**(1).
- Kharismayanti, A. (2015). *Uji aktivitas antibakteri minyak atsiri daun jeruk nipis (Citrus aurantifolia (Christm. & Panz.) Swingle) terhadap Porphyromonas gingivalis ATCC 33277 secara in vitro*. Skripsi, Universitas Jember.
- Pelczar, M. J., & Chan, E. C. S. (1986). *Basic fundamentals of microbiology 2. Translated by Hadioetomo RS, Imas T, Tjitrosomo SS, Figures SL*. Jakarta: University of Indonesia Publishers. things, 489–522.
- Dongmo, P. J., et al. (2009). Essential oils of Citrus aurantifolia from Cameroon and their antifungal activity against Phaeoramularia angolensis. *African J. Agricultural Res.*, **4**(4), 354–358.
- Arifin, B., & Ibrahim, S. (2018). Struktur, bioaktivitas dan antioksidan flavonoid. *Jurnal Zarah*, **6**(1), 21–29.
- Taer, E., et al. (2018). Production of an activated carbon from a banana stem and its application as electrode materials for supercapacitors. *Int. J. Electrochem. Sci.*, **13** 8428–8439.
- Taer, E., Hasanah, F., & Taslim, R. (2021). Nanofiber-enrich activated carbon coin derived from tofu dregs as electrode materials for supercapacitor. *Commun. Sci. Technol.*, **6**(1), 41–48.
- Taer, E., Naipospos, V. M., & Taslim, R. (2020). Activated carbon monolith derived from coconut husk fiber as electrode material for supercapacitor energy storage. *J. Phys.: Conf. Ser.*, **1655**(1), 012164.
- Miller, E. E., Hua, Y., & Tezel, F. H. (2018). Materials for energy storage: Review of electrode materials and methods of increasing capacitance for supercapacitors. *J. Energy Storage*, **20**, 30–40.
- Qin, C., et al. (2020). Understanding structure-performance correlation of biochar materials in environmental remediation and electrochemical devices. *Chem. Eng. J.*, **382**, 122977.

15. Taer, E., et al. (2020). Porous activated carbon monolith with nanosheet/nanofiber structure derived from the green stem of cassava for supercapacitor application. *Int. J. Energy Res.*, **44**(13), 10192–10205.
16. Farma, R., et al. (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.
17. Chen, H., et al. (2018). Nitrogen-doped porous carbon using ZnCl₂ as activating agent for high-performance supercapacitor electrode materials. *J. Mater. Sci.*, **53**, 2669–2684.
18. Gao, X., Meng, T., & Zhao, X. (2017). Variations of soil organic carbon following land use change on deep-loess hillslopes in China. *Land Degradation and Development*, **28**(7), 1902–1912.
19. Girgis, B. S., et al. (2007). X-ray diffraction patterns of activated carbons prepared under various conditions. *Carbon Letters*, **8**(2), 95–100.
20. Azizah, U. (2016). *Sintesis grafit terlapisi karbon (Citric acid) dengan variasi komposisi sebagai bahan anoda pada baterai ion lithium*. Doctoral dissertation, UIN Maulana Malik Ibrahim.
21. Long, X., et al. (2020). Electrochemical sensors with antifouling properties for sensitive detection of isoproturon based on glassy carbon electrode modified with nafion membrane. *Int. J. Electrochem. Sci.*, **15**, 4964–4977.
22. Li, Y., Wang, X., & Cao, M. (2018). Three-dimensional porous carbon frameworks derived from mangosteen peel waste as promising materials for CO₂ capture and supercapacitors. *J. CO₂ Utilization*, **27**, 204–216.
23. Kurniawan, et al. (2018). Pengaruh konsentrasi KOH terhadap sifat fisis dan elektrokimia elektroda karbon dari limbah kulit durian sebagai sel superkapasitor. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **15**(1), 62–66.
24. Coates, J. (2000). Interpretation of infrared spectra, a practical approach. *Encyclopedia Analytical Chem.*, 10815–10837.
25. Xia, D., et al. (2019). Direct growth of carbon nanotubes doped with single atomic Fe–N₄ active sites and neighboring graphitic nitrogen for efficient and stable oxygen reduction electrocatalysis. *Adv. Functional Mater.*, **29**(49), 1906174.
26. Dachriyanus, D. (2004). Analisis struktur senyawa organik secara spektroskopi. *LPTIK Universitas Andalas*.
27. Brunauer, S., Emmett, P. H., & Teller, E. (1938). Adsorption of gases in multimolecular layers. *J. Am. Chem. Soc.*, **60**(2), 309–319.
28. Sing, K. S. (1985). Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity. *Pure Appl. Chem.*, **57**(4), 603–619.
29. Zhang, H., et al. (2018). Dynamic traction of lattice-confined platinum atoms into mesoporous carbon matrix for hydrogen evolution reaction. *Sci. Adv.*, **4**(1), eaao6657.
30. Rawal, S., Joshi, B., & Kumar, Y. (2018). Synthesis and characterization of activated carbon from the biomass of *Saccharum bengalense* for electrochemical supercapacitors. *J. Energy Storage*, **20**, 418–426.
31. Lu, W., et al. (2020). Activated carbon derived from pitaya peel for supercapacitor applications with high capacitance performance. *Mater. Lett.*, **264**, 127339.
32. Ying, Z., et al. (2020). A biomass-derived super-flexible hierarchically porous carbon film electrode prepared via environment-friendly ice-microcrystal pore-forming for supercapacitors. *Chem. Commun.*, **56**(73), 10730–10733.



Artikel ini menggunakan lisensi
[Creative Commons Attribution
 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)