

Sintesis Karbon Aktif Dari Batang Jagung(*Zea mays L.*) dengan Metoda Dehidrasi Asam untuk Aplikasi Elektroda Supercapacitor

Olly Norita Tetra, Syukri, Adlis Santoni, Deswati, Nabiel Fajarandi, Emriadi*
Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 15 Agustus 2024
Direvisi: 10 Oktober 2024
Diterima: 21 November 2024

Kata kunci:

Batang jagung
Dehidrasi
Kapasitansi
Karbon aktif
Supercapacitor

Keywords:

Corn stalk
Dehydration
Capacitance
Activated carbon
Supercapacitor

Penulis Korespondensi:

Emriadi
Email: emriadi@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Karbon aktif dari batang jagung (*Zea mays L.*) telah berhasil disintesis dengan metoda dehidrasi dan digunakan sebagai elektroda supercapacitor. Bubuk batang jagung didehidrasi dengan H_2SO_4 1 M dan di aktivasi dengan NaOH 5 M pada perbandingan massa karbon dan aktivator yaitu 1:4 dengan suhu pemanasan 800°C dan laju pemanasan gas N_2 $10^\circ\text{C}/\text{menit}$ selama 1 jam. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan telah terbentuk pori yang heterogen pada permukaan karbon aktif batang jagung. Hasil EDX menunjukkan persentase karbon 54,82%, data ini didukung oleh hasil FTIR yang menunjukkan beberapa gugus fungsi yang mengandung atom C dan O pada permukaan karbon aktif. Berdasarkan analisis isotherm adsorpsi desorpsi maka karbon aktif menunjukkan tipe H4 dengan luas permukaan spesifik $117,973 \text{ m}^2/\text{g}$, diameter pori rata rata $1,730 \text{ nm}$ dan volume pori total $0,1021 \text{ cm}^3/\text{g}$. Pengukuran sifat elektrokimia dari karbon aktif batang jagung dengan sistem tiga elektroda dan elektrolit KOH 3 M menunjukkan nilai kapasitansi spesifik $25,32 \text{ F/g}$, rapat daya $225,2 \text{ W/kg}$ dan rapat energi $0,863 \text{ Wh/kg}$. Sintesis karbon aktif melalui metode dehidrasi menawarkan keuntungan dalam hal kesederhanaan dalam preparasi, biaya rendah, waktu sintesis yang lebih singkat dan ramah lingkungan.

*Activated carbon from corn stalks (*Zea mays L.*) has been successfully synthesized by the dehydration method and used as a supercapacitor electrode. Corn stalk powder was dehydrated with $1 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ and activated with 5 M NaOH at a carbon and activator mass ratio of 1:4 with a heating temperature of 800°C and an N_2 gas heating rate of $10^\circ\text{C}/\text{minute}$ for 1 hour. SEM characterization results show that heterogeneous pores have formed on the surface of corn stalk-activated carbon. EDX results showed a carbon percentage of 54.82%; this data is supported by FTIR results, which show several functional groups containing C and O atoms on the surface of activated carbon. Based on desorption adsorption isotherm analysis, the activated carbon shows H4 type with a specific surface area of $117.973 \text{ m}^2/\text{g}$, average pore diameter of 1.730 nm and total pore volume of $0.1021 \text{ cm}^3/\text{g}$. Measurement of the electrochemical properties of corn stalk activated carbon with a three-electrode system and 3 M KOH electrolyte showed a specific capacitance value of $25,32 \text{ F/g}$, power density 225.2 W/kg and energy density 0.863 Wh/kg . The synthesis of activated carbon through the dehydration method offers advantages in terms of simplicity in preparation, low cost, shorter synthesis time and being environmentally friendly.*

Copyright © 2024 Author(s).

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi saat ini, membutuhkan sistem penyimpanan energi dengan kapasitas energi dan daya yang besar. Teknologi konvensional untuk penyimpanan energi yang telah umum digunakan berupa kapasitor dan baterai. Kapasitor memiliki kapasitansi yang relatif kecil dan siklus pakai yang singkat, sedangkan baterai sebagai penyimpan energi alternatif dinilai tidak ramah lingkungan karena limbahnya mengandung bahan berbahaya dan beracun (Yang et al., 2021). Superkapasitor dianggap sebagai salah satu kandidat perangkat penyimpan energi yang paling menjanjikan saat ini karena beberapa kelebihanannya seperti penyimpanan muatan yang besar, pengisian/pengosongan yang cepat dan kepadatan energi serta daya tinggi sehingga superkapasitor banyak digunakan di berbagai bidang seperti kendaraan, komputer dan perangkat telekomunikasi (Y. Li et al., 2020). Salah satu komponen yang paling penting pada superkapasitor adalah elektroda. Beberapa bahan dasar elektroda yang dapat digunakan adalah karbon aktif (Zhang et al., 2021), oksida logam (Wang et al., 2021), dan polimer konduktif (H. Li et al., 2023; Liu et al., 2024). Karbon aktif memiliki keunggulan yaitu mudah didapatkan, biaya murah, memiliki konduktivitas listrik yang tinggi, luas permukaan yang besar, stabilitas kimia yang baik dan proses preparasi yang relatif mudah (Mehdi et al., 2023). *Precursor* karbon aktif telah banyak diteliti untuk digunakan sebagai bahan elektroda superkapasitor, seperti kayu (Wu et al., 2020), kulit jeruk (Tetra et al., 2024), cangkang kelapa sawit (Tetra et al., 2018), kulit melon (Elaiyappillai et al., 2019), tongkol jagung (Qu et al., 2015), kulit kacang walnut (Elanthamilan et al., 2021) dan lain-lain.

Batang jagung adalah limbah yang paling banyak dihasilkan setelah panen, biasanya dibiarkan kering dan kemudian dibakar, karena nilai ekonominya rendah sehingga pemanfaatannya tidak optimal, padahal batang jagung banyak mengandung selulosa, hemiselulosa dan lignin yang menjadikan tanaman ini dapat digunakan sebagai *precursor* karbon aktif. Penelitian pembuatan karbon aktif dari batang jagung sudah pernah dilakukan dengan menggunakan metoda karbonisasi pada suhu 400 °C selama 2 jam dengan luas permukaan spesifik 35,65 m²/g dan kapasitansi spesifik 140 F/g (Yu et al., 2018).

Metoda yang sering digunakan untuk sintesis karbon aktif adalah metoda karbonisasi dan aktivasi tetapi preparasinya lama dan menghasilkan produk samping seperti gas metana dan karbon monoksida yang berbahaya terhadap lingkungan, sedangkan metode dehidrasi dianggap lebih unggul daripada metode karbonisasi, karena menghasilkan karbon aktif dengan porositas tinggi dan senyawa samping hanya berupa molekul H₂O. Sintesis karbon aktif dengan metoda dehidrasi sudah pernah dilakukan dengan *precursor* kulit durian yang digunakan sebagai elektroda superkapasitor dengan kapasitansi 145 F/g (Ukkakimapan et al., 2020). Metode dehidrasi dalam sintesis karbon aktif memberikan rute yang lebih ramah lingkungan dan murah untuk mengubah *precursor* gula putih menghasilkan struktur mikropori dengan kapasitansi mencapai 242,67 F/g.

Seiring dengan proses karbonisasi maka peningkatan porositas pada karbon aktif dapat dilakukan dengan penambahan aktivator yang diikuti dengan pirolisis. Aktivator NaOH adalah yang paling banyak digunakan karena kemampuannya mengikis dinding pori yang lebih kuat dan struktur pori yang dihasilkan lebih homogen. NaOH bereaksi dengan situs yang paling aktif di permukaan karbon, sehingga menampilkan reaktivitas yang sangat bergantung pada aromatisitas dan kristalinitas prekursor karbon. Pori pada karbon aktif digunakan sebagai penyimpan muatan, semakin besar volume pori semakin besar kemampuan superkapasitor untuk menyimpan muatan (Y. Li et al., 2020). Pemilihan metoda dan aktivator yang tepat merupakan langkah penting untuk mengontrol struktur pori dan distribusi bahan karbon berbasis biomassa, yang akan menentukan kinerja elektroda superkapasitor.

II. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu *furnace* (Neytech D-550 Vulcan), ayakan 45 µm, *hot plate* (IKA'C-MAGHS4), neraca analitik (Mettler PM4000), oven (Nabertherm) dan pH meter (Metrohm). Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu batang jagung, natrium hidroksida (NaOH, Merck), kalium hidroksida (KOH, Merck), asam klorida (HCl, (Merck), asam sulfat (H₂SO₄, (Merck), akuades, *polyvinylidene fluoride* (PVDF, Merck), *N-Methylpyrrolidone* (NMP, Merck), *carbon black* dan *nickel foam*.

2.2 Preparasi Karbon Aktif Batang Jagung

Bubuk batang jagung sebanyak 50 g di tambahkan 100 mL H₂SO₄ 1M, dan di *stirer* selama 10 menit pada temperatur 80°C. Setelah proses dehidrasi selesai maka campuran tersebut di cuci dengan *aquadest* dan dikeringkan selama 10 jam dalam oven pada temperatur 80°C. Hasil dari dehidrasi batang jagung yaitu *biochar* selanjutnya diaktivasi dengan menambahkan NaOH 5 M pada perbandingan berat antara bubuk batang jagung yang sudah di dehidrasi dengan aktivator NaOH adalah 1: 4. Campuran tersebut didiamkan selama 24 jam dan dipanaskan pada *tube furnace* pada suhu 800°C selama 1 jam dengan laju pemanasan 10°C/menit dalam atmosfir N₂. Karbon aktif yang dihasilkan selanjutnya didinginkan pada suhu ruang dan dicuci dengan HCl 2 M sampai pH 7, kemudian dibilas dengan akuades. Karbon aktif dipanaskan kembali dalam oven pada suhu ± 110 °C sampai berat konstan (Ukkakimapan et al., 2020).

2.3 Proses Pembuatan Elektroda Kerja Karbon Aktif Batang Jagung

Karbon aktif batang jagung disiapkan sebagai elektroda kerja dengan mencampurkannya dengan *Polyvinylidene fluoride* (PVDF) dan *carbon black* pada perbandingan massa 8:1:1 (karbon aktif : PVDF : *carbon black*). Campuran digerus selama 15 menit, lalu dipanaskan untuk mengurangi kadar air. Kemudian, campuran dilarutkan dengan N-methyl pyrrolidone (NMP) sehingga akan menghasilkan pasta/*slurry*, campuran dideposisikan di atas *nickel foam* berukuran 1×1 cm² dengan metode *drop casting* dan dikeringkan dengan oven vakum pada suhu 100°C selama 12 jam sehingga dihasilkan plat elektroda.

2.4 Karakterisasi Karbon Aktif dari Batang Jagung

Karbon aktif dari limbah batang jagung dikarakterisasi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX), *Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (ATR-FTIR) dan *Surface Area Analyzer* (SAA) dengan analisis isoterem adsorpsi dan desorpsi menggunakan metode *Brunauer Emmett-Teller* (BET), total volume pori dan distribusi pori menggunakan *density functional theory* (DFT) dan metode *Barrett-Joyner-Halenda* (BJH).

2.5 Pengukuran Sifat Elektrokimia Elektroda Karbon Aktif Batang Jagung

Pengukuran sifat elektrokimia dari elektroda karbon aktif batang jagung menggunakan instrumen *Cyclic Voltammetry* (CV) dan *Galvanostatic Charge-Discharge* (GCD) (PARSTAT 3000A Ametek) dengan sistem tiga elektroda. *Nickel foam* sebagai *current collector*. *Platinum mesh* digunakan sebagai elektroda pembantu, Ag/AgCl sebagai elektroda pembanding dan dicelupkan didalam KOH 3 M sebagai larutan elektrolit. Pengukuran CV dan GCD dilakukan pada rentang potensial -1 V – 0 V dimana didapatkan plot hubungan antara potensial dengan arus pada CV dan waktu dengan potensial pada GCD. Selain itu, dilakukan pengukuran sifat elektrokimia dari karbon aktif batang jagung dengan menggunakan instrumen EIS (PARSTAT 3000A Ametek) pada rentang frekuensi 0,01 Hz – 100.000 Hz. Nilai kapasitansi spesifik (*C*, F/g) dari sistem 3 elektroda dievaluasi dari kurva GCD menggunakan Persamaan 1, rapatan energi (*E*, Wh/kg) dan rapatan daya (*P*, W/kg) dihitung dengan Persamaan 2 dan 3.

$$C = \frac{I\Delta t}{m\Delta V} \quad (1)$$

$$E = \frac{C.\Delta V^2}{8.3,6} \quad (2)$$

$$P = 3600 \frac{E}{\Delta t} \quad (3)$$

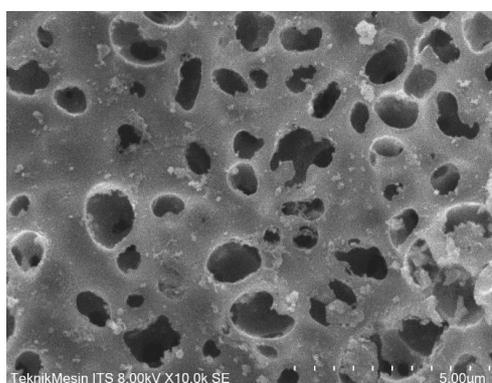
dimana *I* adalah arus pengisian (A), *V* adalah potensial (V), *t* adalah waktu pengosongan (A) dan *m* adalah berat elektroda (g).

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil Karakterisasi Karbon Aktif Batang Jagung

3.1.1 Hasil Karakterisasi SEM-EDX

Karakterisasi SEM digunakan untuk mempelajari morfologi permukaan dari karbon aktif yang disintesis melalui metode dehidrasi sedangkan EDX untuk mengetahui komposisi unsur yang terkandung dalam karbon aktif. Pada Gambar 1, morfologi permukaan karbon aktif batang jagung memperlihatkan telah terbentuk pori, dengan lubang yang dalam dan ukuran yang tidak seragam. Hal ini disebabkan oleh konsentrasi aktivator NaOH yang kecil dengan waktu perendaman yang tidak lama sehingga menyebabkan pembentukan pori belum terjadi secara sempurna. Dilaporkan bahwa jika dibandingkan dengan aktivator lain seperti H_2SO_4 , $ZnCl_2$, dan H_3PO_4 , maka porositas yang dihasilkan karbon aktif dengan aktivator NaOH menghasilkan porositas yang lebih kecil. Pori-pori yang terbentuk ini akan mempermudah ion elektrolit untuk berdifusi dan teradsorpsi pada material karbon dan menjadi tempat untuk menyimpan muatan pada permukaan elektroda karbon aktif batang jagung (Aziz et al., 2017).



Gambar 1 Foto SEM karbon aktif batang jagung dengan perbesaran 10.000 kali

NaOH sebagai aktivator memainkan peran ganda yaitu membantu dalam menghasilkan jaringan berpori dan juga bertindak sebagai agen pengelupasan kulit dan melepas pengotor yang ada dipermukaan dan bagian dalam pori, selain itu juga membantu mengoksidasi karbon menjadi karbonat, yang mengarah pada pembentukan pori-pori pada kerangka karbon akibat pengetsaan. Selanjutnya, porositas dapat dicapai dengan penguraian Na_2CO_3 menjadi CO_2 melalui gasifikasi di atas $700\text{ }^\circ\text{C}$. Struktur berpori pada bahan berbasis karbon memfasilitasi peningkatan daya tampung muatan dan mendukung aliran ion / muatan yang efisien antara elektroda dan elektrolit. Akan tetapi apabila suhu yang terlalu tinggi pada proses karbonisasi ($> 800\text{ }^\circ\text{C}$) akan menyebabkan penurunan porositas karena pecahnya struktur atau terjadi penyusutan volume pori akibat efek *over etching* pada dinding dan permukaan pori sehingga mengakibatkan daya tampung menyimpan muatan menjadi lebih kecil (Ruan et al., 2022).

Komposisi unsur yang terkandung pada permukaan karbon aktif batang jagung didapatkan melalui analisis EDX. Berdasarkan hasil EDX pada Tabel 1, ditemukan bahwa karbon aktif batang jagung mengandung persentase terbanyak yaitu unsur C dan unsur O.

Tabel 1 Komposisi unsur karbon aktif batang jagung dengan metoda dehidrasi

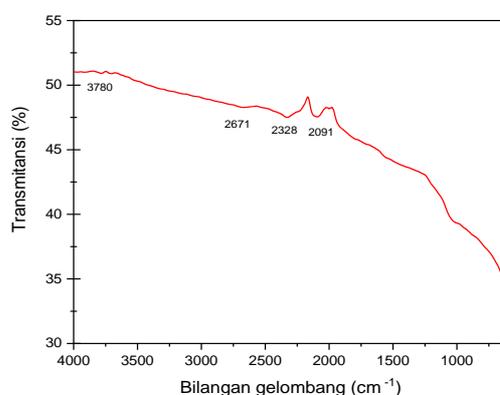
Atom	% berat
C	54,82
O	34,56
Na	2,18
N	5,96
Al	2,48

Adanya unsur oksigen yang relatif besar yaitu 34,56% berasal dari bahan baku yang masih tertinggal karena waktu proses karbonisasi hanya 1 jam pada suhu $800\text{ }^\circ\text{C}$. Proses karbonisasi yang dilakukan pada suhu $<900\text{ }^\circ\text{C}$ tidak akan mendapatkan kandungan karbon murni. Sebaliknya, pada suhu karbonisasi $>900\text{ }^\circ\text{C}$ dan dilakukan dalam kondisi vakum dapat menghasilkan karbon dengan kemurnian yang lebih tinggi. Dilaporkan bahwa ketika rasio impregnasi antara karbon dan NaOH besar, jumlah

karbon menurun karena reaksi antara karbon dan NaOH menyebabkan terjadinya gasifikasi volatil dari karbon sehingga jumlah karbon berkurang (Shaku et al., 2023).

3.1.2 Hasil Karakterisasi ATR-FTIR

Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) bertujuan untuk menganalisa gugus fungsi dan struktur rantai karbon pada permukaan karbon aktif. Gugus-gugus fungsi yang masih terdapat pada permukaan karbon aktif ini akan berperan dalam proses pembentukan lapis rangkap listrik pada superkapasitor, sehingga dapat mengoptimalkan kinerja elektroda superkapasitor. Berdasarkan Gambar 2, adanya pita lemah pada angka gelombang 3780 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi *stretching* gugus O – H alkohol dan fenolik yang berasal dari senyawa organik pada batang jagung, seperti lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Pada angka gelombang 2671 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi *stretching* C – H dari cincin aromatis (Cheng et al., 2021). Selanjutnya angka gelombang 2091 cm^{-1} mengindikasikan adanya vibrasi C=N *stretching* dimana hal tersebut sesuai dengan hasil EDX karbon aktif batang jagung yang menunjukkan adanya atom N dan pada angka gelombang 2328 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi *stretching* C=O (Emrooz et al., 2022).

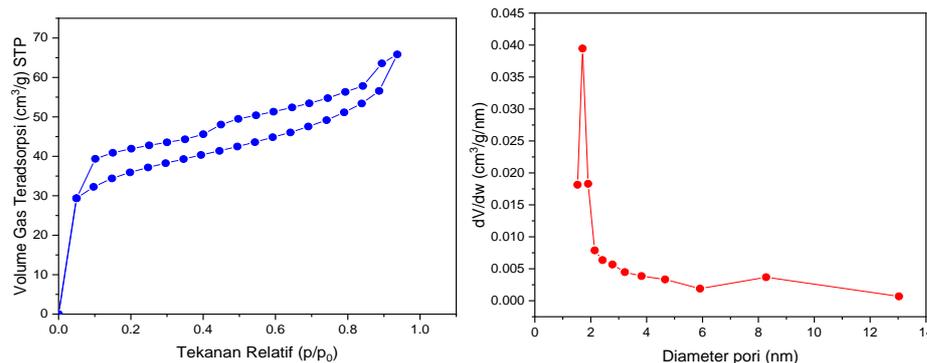


Gambar 2 Spektrum FTIR karbon aktif dari batang jagung

3.1.3 Hasil Karakterisasi Menggunakan SAA

SAA berfungsi untuk menentukan luas permukaan material, distribusi pori dari material dan isoterm adsorpsi suatu gas pada suatu sampel. Gambar 3a, menunjukkan isoterm adsorpsi – desorpsi nitrogen pada temperatur 77 K dari karbon aktif batang jagung. Berdasarkan klasifikasi IUPAC, kurva isoterm adsorpsi karbon aktif batang jagung mengikuti jenis kurva adsorpsi isoterm tipe H4, *histerisis* mengindikasikan adanya proses adsorpsi dan desorpsi yang terjadi pada pori di permukaan yang menunjukkan adanya gabungan struktur mikropori dan sedikit mesopori pada sampel. Struktur mikropori akan berperan dalam penyimpanan muatan, sedangkan struktur mesopori berperan pada mobilitas ion, sehingga dengan adanya gabungan struktur mikropori dan mesopori akan meningkatkan kinerja superkapasitor (Mehdi et al., 2023).

Gambar 3a, memperlihatkan bahwa pada tekanan relatif kecil volume gas yang teradsorpsi meningkat dan semakin besar tekana relatif semakin besar volume gas yang teradsorpsi mengindikasikan struktur pori yang terlibat dalam adsorpsi adalah dominan mikropori dan sedikit mesopori. Hal ini di dukung dari kurva distribusi pori pada Gambar 3b, yang menunjukkan bahwa distribusi pori karbon aktif batang jagung paling banyak terlihat pada rentang diameter pori yang berkisar antara 1,5 nm hingga 2 nm dengan distribusi pori rata-rata adalah 1,730 nm. Hal ini tidak lepas dari proses dehidrasi asam yang mempercepat degradasi rantai selulosa dan hemiselulosa pada batang jagung. Beberapa penelitian melaporkan bahwa ukuran pori karbon aktif batang jagung dipengaruhi oleh konsentrasi larutan aktivator, semakin bertambahnya konsentrasi aktivator maka semakin kecil nilai rata – rata ukuran pori yang dihasilkan (Zhu et al., 2023). Pembentukan pori terjadi karena adanya pengikisan akibat reaksi permukaan karbon dengan zat pengaktif. Perbandingan rasio karbon aktif dan NaOH 1:4 merupakan kondisi optimum NaOH untuk mengaktivasi pori pada permukaan karbon aktif pada berbagai biomasa (Jia et al., 2023).

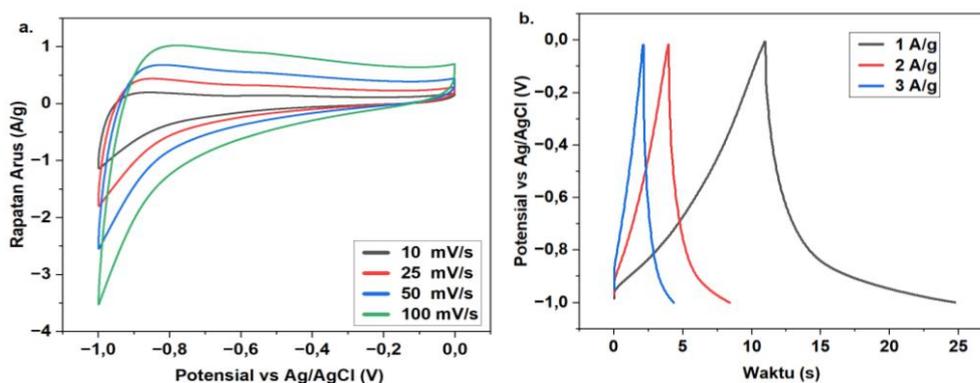


Gambar 3 (a). Kurva isoterm adsorpsi desorpsi karbon aktif batang jagung (b). Kurva distribusi ukuran pori dengan metode BJH pada karbon aktif batang jagung

3.2 Karakterisasi Elektrokimia Elektroda Karbon Aktif Batang Jagung

Analisis CV digunakan untuk mempelajari stabilitas dan *reversibilitas* (kedapatbalikan) superkapasitor. Analisis CV dilakukan dalam jendela potensial dari -1 hingga 0 V dalam elektrolit KOH 3 M pada laju pemindaian antara 10 hingga 100 mV/s. Hasil kurva CV pada Gambar 4 a, berbentuk mirip persegi panjang dengan sedikit distorsi pada ujungnya dimana saat laju pemindaian semakin besar maka kurva CV yang dihasilkan juga semakin besar. Dalam hal ini sampai 100mV/s tidak ada perubahan bentuk dari kurva yang dihasilkan, ini menandakan tingkat kestabilan dari elektroda superkapasitor dalam menyimpan muatan. Bentuk persegi panjang ini juga menandakan adanya kombinasi antara mikropori dan mesopori. Kondisi ini menunjukkan bahwa difusi ion dalam elektroda terjadi tanpa hambatan. Ini membuktikan bahwa karbon aktif yang disintesis dengan metode dehidrasi memiliki karakterisasi yang mendukung untuk memudahkan pembentukan lapisan rangkap listrik seperti luas permukaan spesifik, volume pori dan distribusi pori dari karbon aktif yang dihasilkan (Shaku et al., 2023).

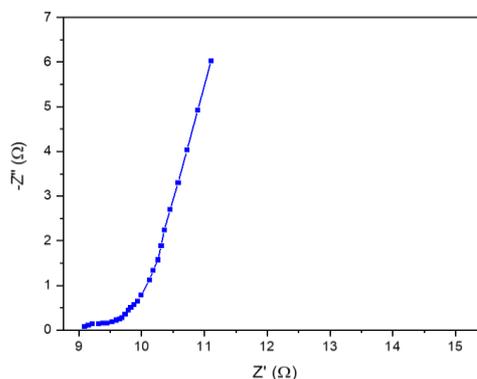
Pada Gambar 4 b, menunjukkan kurva GCD untuk elektroda karbon aktif dari batang jagung yang diuji menggunakan elektrolit KOH 3 M pada rapatannya yang berbeda dan dihasilkan kurva GCD berbentuk seperti segitiga sama kaki, yang menunjukkan mekanisme penyimpanan muatan lapisan ganda listrik yang khas pada superkapasitor (Hassen, 2017).



Gambar 4 (a) Kurva CV pada laju pemindaian yang berbeda (b). Kurva GCD pada rapatannya yang berbeda dari elektroda karbon aktif batang jagung

Pengukuran *charge-discharge* galvanostatik ini dapat digunakan untuk menguji kinerja elektrokimia superkapasitor dimana kapasitansi spesifiknya adalah 25,32 F/g pada rapatannya 1A/g, semakin besar rapatannya maka kapasitansi spesifik semakin kecil, sedangkan rapatannya daya dan rapatannya energinya adalah 225,2 Wh/kg dan 0,863W/kg. Bentuk segitiga masih dipertahankan pada rapatannya arus yang lebih tinggi, ini menunjukkan *reversibilitas* yang sangat baik selama proses pengisian dan pengosongan. Waktu pelepasan berkurang secara bertahap dengan meningkatnya rapatannya arus, yang disebabkan oleh hampir tidak ada waktu bagi ion elektrolit untuk masuk dan berdifusi ke dalam porositas bahan karbon. Teknik EIS selanjutnya digunakan untuk menentukan kinerja elektrokimia superkapasitor. Gambar 5, menunjukkan sifat EIS dari plot Nyquist karbon aktif batang jagung dalam rentang frekuensi 0,01 Hz - 100 kHz pada amplitudo 10 mV. Berdasarkan plot *Nyquist* pada Gambar 5, nilai impedansi

imajiner atau Z'' meningkat secara signifikan terhadap nilai impedansi riil atau Z' pada frekuensi tinggi ke frekuensi rendah. Daerah *semi-circle* yang terbentuk sangat kecil yang menunjukkan proses transfer muatan pada permukaan elektroda karbon aktif batang jagung dan elektrolit KOH berlangsung cepat karena kecilnya tahanan transfer muatan (R_{ct}), lalu diikuti oleh garis lurus pada daerah frekuensi rendah. Hal ini menentukan sifat kapasitif sel superkapasitor dengan elektroda karbon aktif batang jagung, dimana terjadi pembentukan antarmuka antara elektroda dan elektrolit, sehingga memberikan akses yang mudah pada ion elektrolit bergerak menuju elektroda.



Gambar 5 Plot Nyquist elektroda karbon aktif batang jagung

Tahanan transfer-muatan yang tinggi biasanya berkorelasi dengan volume pori yang terlalu kecil sehingga tidak mampu diakses oleh elektrolit KOH yang digunakan (Febriyanto et al., 2019). Pola *semi-circle* merepresentasikan adanya tahanan elektrolit akibat reaksi elektrokimia yang terjadi dalam elektrolit tersebut, dimana pada keadaan tertentu antara ion elektrolit dan permukaan karbon aktif akan membentuk lapisan ganda (*double layer*). Pola *semi-circle* yang ditunjukkan pada plot Nyquist elektroda karbon aktif batang jagung memiliki bentuk yang sempit. Hal ini menandakan bahwa total tahanan bernilai kecil dan proses pembentukan lapis rangkap listrik yang terjadi lebih optimal (Conway, 2013).

IV. KESIMPULAN

Karbon aktif dari batang jagung yang disintesis melalui metode dehidrasi asam dan aktivasi dengan NaOH dapat digunakan sebagai bahan elektroda superkapasitor. Hasil karakterisasi SEM – EDX menunjukkan pembentukan pori yang tidak seragam pada permukaan karbon aktif batang jagung dengan persentase kandungan unsur karbon 54,82 %. Berdasarkan hasil karakterisasi SAA dengan metode BET-BJH menunjukkan jenis isoterm tipe H4 dimana ukuran pori dominan adalah mikropori dengan luas permukaan spesifik 117,973 m²/g. Penentuan sifat elektrokimia elektroda karbon aktif batang jagung memberikan nilai kapasitansi spesifik sebesar 25,32 F/g pada rapat arus 1A/g, dengan rapat daya 0,863W/kg dan rapat energinya 225,2 Wh/kg. Preparasi karbon aktif melalui metode dehidrasi ini adalah metode yang efektif dalam hal kesederhanaan dan waktu proses preparasi karbon aktif untuk superkapasitor kinerja tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, H., Tetra, O. N., Alif, A., Syukri, S., & Perdana, Y. A. (2017). Performance Karbon Aktif Dari Limbah Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Zarah*, 5(2).
- Cheng, J., Hu, S. C., Sun, G. T., Kang, K., Zhu, M. Q., & Geng, Z. C. (2021). Comparison of activated carbons prepared by one-step and two-step chemical activation process based on cotton stalk for supercapacitors application. *Energy*.
- Conway, B. E. (2013). *Electrochemical supercapacitors: scientific fundamentals and technological applications*. Springer Science & Business Media.
- Elaiyappillai, E., Srinivasan, R., Johnbosco, Y., Devakumar, P., Murugesan, K., Kesavan, K., & Johnson, P. M. (2019). Low cost activated carbon derived from Cucumis melo fruit peel for electrochemical supercapacitor application. *Applied Surface Science*, 486, 527–538. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.05.004>

- Elanthamilan, E., Catherin Meena, B., Renuka, N., Santhiya, M., George, J., Kanimozhi, E. P., Christy Ezhilarasi, J., & Princy Merlin, J. (2021). Walnut shell derived mesoporous activated carbon for high performance electrical double layer capacitors. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 901, 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2021.115762>
- Emrooz, H. B. M., Naghavi, M. S. H., Mohammadi, S., & Mousavi-Khoshdel, S. M. (2022). One-step green synthesis of meso-microporous carbons by self-activation of lemon wastes for high-performance supercapacitors. *Journal of Energy Storage*.
- Febriyanto, P., Jerry, J., Satria, A. W., & Devianto, H. (2019). Pembuatan Dan Karakterisasi Karbon Aktif Berbahan Baku Limbah Kulit Durian Sebagai Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Integrasi Proses*, 8(1), 19. <https://doi.org/10.36055/jip.v8i1.5439>
- Hassen, J. H. (2017). Effect of KOH Ratio on The Formation of Activated Carbon From Pressed Wood Residues. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 8(11), 4875–4880. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.8\(11\).4875-80](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.8(11).4875-80)
- Jia, J., Yao, Z., Zhao, L., Xie, T., Sun, Y., Tian, L., & Liu, Z. (2023). Functionalization of supercapacitors electrodes oriented hydrochar from cornstalk: A new vision via biomass fraction. *Biomass and Bioenergy*.
- Li, H., Li, Y., Zhu, S., Li, Y., Zada, I., & Li, Y. (2023). Recent advances in biopolymers-based carbon materials for supercapacitors. *RSC Advances*, 13(47), 33318–33335. <https://doi.org/10.1039/d3ra06179e>
- Li, Y., Zhang, D., Zhang, Y., He, J., Wang, Y., Wang, K., Xu, Y., Li, H., & Wang, Y. (2020). Biomass-derived microporous carbon with large micropore size for high-performance supercapacitors. *Journal of Power Sources*, 448(November), 227396.
- Liu, H., Yang, M., Li, J., Chen, Y., Liu, Q., & Gu, J. (2024). Polyacrylonitrile as a binder realizes high-rate activated-carbon-based supercapacitors. *Electrochimica Acta*.
- Mehdi, R., Naqvi, S. R., Khoja, A. H., & Hussain, R. (2023). Biomass derived activated carbon by chemical surface modification as a source of clean energy for supercapacitor application. *Fuel*.
- Qu, W. H., Xu, Y. Y., Lu, A. H., Zhang, X. Q., & Li, W. C. (2015). Converting biowaste corncob residue into high value added porous carbon for supercapacitor electrodes. *Bioresour Technol*, 189, 285–291. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.005>
- Ruan, W., Wang, Y., Liu, C., Xu, D., Hu, P., Ye, Y., & Wang, D. (2022). One-step fabrication of N-doped activated carbon by NH₃ activation coupled with air oxidation for supercapacitor and CO₂ capture applications. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*.
- Shaku, B., Mofokeng, T. P., Coville, N. J., Ozoemena, K. I., & Maubane-Nkadimeng, M. S. (2023). Biomass valorisation of marula nutshell waste into nitrogen-doped activated carbon for use in high performance supercapacitors. *Electrochimica Acta*.
- Tetra, O. N., Aziz, H., & Arifin, B. (2024). Karbon Aktif Berpori Dari Kulit Jeruk (*Citrus sinensis (L.) Osbeck*) Melalui Metoda Dehidrasi Untuk Kapasitor Elektrokimia. *Jurnal Zarah*, 12(1).
- Tetra, O. N., Aziz, H., Syukri, S., Arifin, B., & Novia, A. (2018). Pengaruh Penambahan Karbon Aktif dari Tanah Gambut terhadap Kapasitansi Elektroda Superkapasitor Berbahan Dasar Karbon Aktif Cangkang Kelapa Sawit. *Jurnal Zarah*, 6(2).
- Ukkakimapan, P., Sattayarut, V., Wanchaem, T., Yordsri, V., Phonyiem, M., Ichikawa, S., & Endo, M. (2020). Preparation of activated carbon via acidic dehydration of durian husk for supercapacitor applications. *Diamond and Related Materials*.
- Wang, J., Yang, H., Sun, Q., Zhou, C., Zhang, X., Ge, L., & Ma, X. (2021). Synthesis of δ -MnO₂/C assisted with carbon sheets by directly carbonizing from corn stalk for high-performance supercapacitor. *Materials Letters*.
- Wu, T., Chen, M., Zhou, L., Lu, F., Bie, X., & Lu, Z. (2020). Bacillomycin D effectively controls growth of *Malassezia globosa* by disrupting the cell membrane. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(8). <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10462-w>
- Yang, B., Zhang, D., She, W., Wang, J., Gao, S., Wang, Y., & Wang, K. (2021). Remarkably improving the specific energy of supercapacitor based on a biomass-derived interconnected hierarchical porous carbon by using a newly-developed mixed alkaline aqueous electrolyte with widened operation voltage. *Journal of Power Sources*.

- Yu, K., Zhu, H., Qi, H., & Liang, C. (2018). High surface area carbon materials derived from corn stalk core as electrode for supercapacitor. *Diamond and Related Materials*.
- Zhang, Y., Sun, W., & Yang, F. (2021). Electrochemical performance of potato-derived activated carbon: Effect of compressive stress. *Journal of Energy Storage*, 37(December 2020), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102476>
- Zhu, H., Liao, Q., Hu, L., Xie, L., Qu, B., & Gao, R. (2023). Effect of removal of alkali and alkaline earth metals in cornstalk on slagging/fouling and co-combustion characteristics of cornstalk/coal blends for biomass applications. *Renewable Energy*.