

POTENSI DAUN JAHE MERAH SEBAGAI BAHAN DASAR PEMBUATAN ELEKTRODA SUPERKAPASITOR

Erman Taer^{1*}, Juwita Ade Putri¹, Novi Yanti¹, 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

Red ginger leaf waste (Zingiber Officinale Var Rubrum) has been successfully processed as an active carbon base material for supercapacitor electrodes. The process of making carbon electrodes starts from the preparation of the original material, drying, refining, chemical activation, integrated pyrolysis and neutralization. The focus of this research is on the chemical activator $ZnCl_2$ which is used with different concentrations of (0.1 and 0.5) M. Activated carbon powder is printed using a press to produce carbon in the form of solid coins of uniform size. The optimization of the carbon element in the sample is carried out through a pyrolysis process at high temperature with a one-stage integrated technique. Where, carbonization in the N_2 gas environment is carried out starting from room temperature $30^\circ C$ up to $600^\circ C$ followed by physical activation until the high temperature reaches $800^\circ C$ in CO_2 gas environment. Characterization of activated carbon samples from red ginger leaves begins with determining the amount of shrinkage that occurs in the pyrolysis process by measuring the mass, diameter and thickness of the carbon coins. Furthermore, the electrochemical properties were tested using two methods, namely cyclic voltammetry (CV) and galvanostatic charge-discharge (GCD) in a symmetrical two-electrode system. The electrochemical characterization was carried out under the influence of an aqueous electrolyte of 1M KOH and 1M Na_2SO_4 at a low potential window of 0-1 V. The optimum conditions of electrochemical properties were found in the red ginger leaf activated carbon sample with a $ZnCl_2$ activator concentration of 0.5M for the electrolyte. KOH with a specific capacitance value of 115.9 F/g. while for electrolyte Na_2SO_4 found in $ZnCl_2$ activator 0.1M with a value of 72 F/g. Through these results, red ginger leaves are known to have great potential as a base material for activated carbon electrodes to improve the performance of supercapacitors.

Keywords: Red Ginger Leaf, Supercapacitor, Carbon Electrode, Specific Capacitance.

ABSTRAK

Limbah daun jahe merah (Zingiber Officinale Var Rubrum) telah berhasil diolah sebagai bahan dasar karbon aktif untuk elektroda superkapasitor. Proses pembuatan elektroda karbon dimulai dari tahap persiapan bahan asal, pengeringan, penghalusan, aktivasi kimia, pirolisis terintegrasi dan penetralan. Fokus penelitian ini terikat pada aktivator kimia $ZnCl_2$ yang digunakan dengan perbedaan konsentrasi (0,1 dan 0,5) M. Serbuk karbon teraktivasi dicetak menggunakan alat pengepress untuk menghasilkan karbon berupa kepingan koin padat dengan ukuran yang seragam. Optimalisasi unsur karbon pada sampel dilakukan melalui proses pirolisis pada suhu tinggi dengan teknik terintegrasi satu tahap. Dimana, karbonisasi dalam lingkungan gas N_2 dilakukan mulai dari suhu ruang $30^\circ C$ hingga mencapai $600^\circ C$ yang dilanjutkan dengan aktivasi fisika hingga suhu tinggi mencapai $800^\circ C$ dalam lingkungan gas CO_2 . Karakterisasi sampel karbon aktif daun jahe merah dimulai dengan penentuan besar penyusutan yang terjadi pada proses pirolisis melalui pengukuran massa, diameter dan ketebalan koin karbon. Selanjutnya, sifat elektrokimia diuji menggunakan dua metode yaitu siklik voltametri (CV) dan galvanostatik charge-discharge (GCD) dalam sistem dua elektroda simetris. Karakterisasi sifat elektrokimia ini dilakukan di dalam pengaruh elektrolit berair KOH 1M dan Na_2SO_4 1M pada jendela potensial rendah yaitu 0-1 V. Kondisi optimum dari sifat elektrokimia ditemukan pada sampel karbon aktif daun jahe merah dengan konsentrasi aktivator $ZnCl_2$ 0,5M untuk elektrolit KOH dengan nilai kapasitansi spesifik 115,9 F/g. sedangkan untuk elektrolit Na_2SO_4 ditemukan pada aktivator $ZnCl_2$ 0,1M dengan nilai 72 F/g. Melalui hasil ini daun jahe merah diketahui memiliki potensi besar sebagai bahan dasar elektroda karbon aktif untuk meningkatkan kinerja dari superkapasitor.

Kata kunci: Daun Jahe Merah, Supercapacitor, Elektroda Karbon, Kapasitansi Spesifik.

Diterima 13-07-2022 | Disetujui 23-07-2022 | Dipublikasi 31-07-2022

PENDAHULUAN

Perkembangan industri dan teknologi modern meningkatkan kebutuhan energi listrik yang diiringi pertumbuhan jumlah penduduk juga perkembangan di bidang industri, dan teknologi informasi bersamaan dengan globalisasi. Berdasarkan ketersediannya sumber energi diklasifikasikan menjadi dua yaitu energi terbarukan (*renewable energy*) dan energi tak terbarukan (*nonrenewable energy*). Energi yang tidak dapat diperbaharui terutama fosil seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara yang dapat menyebabkan kelangkaan. Permasalahan ini diatasi dengan mencari sumber energi untuk dikembangkan sebagai energi alternatif seperti cahaya matahari, angin, air, ombak laut dan biomassa. Namun, pada kenyataannya pemanfaatan sumber-sumber energi tersebut masih belum maksimal.

Pemanfaatan energi terbarukan sebagai sumber energi sangat tergantung pada teknologi dan cara konversinya. Laptop dan handphone merupakan contoh perkembangan teknologi yang membutuhkan baterai sebagai penyimpan energi. Namun, baterai memiliki kelemahan dalam menyimpan energi karena rapat daya kecil dan waktu penyimpanan energi cukup lama. Karena itu, dibutuhkan penyimpanan energi dengan kapasitas besar dengan rapat energi dan rapat daya tinggi dan waktu penyimpanan singkat untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang dikenal dengan superkapasitor.

Superkapasitor adalah piranti penyimpan energi listrik dengan kapasitas penyimpanan diantara kapasitor dan baterai. Superkapasitor memiliki kerapatan daya lebih tinggi, waktu pengisian singkat, siklus hidup lebih panjang, serta dapat menyimpan muatan per kubik 10^6 lebih besar dari kapasitor biasa. Superkapasitor disebut juga sebagai kapasitor elektrokimia lapis ganda listrik (*electrochemical double layer capacitors*, EDLC) karena terdiri dari dua elektroda karbon sejenis. Superkapasitor terdiri dari elektroda, elektrolit, pemisah (separator), dan pengumpul arus.

Superkapasitor dapat dibuat dari biomassa karena terdiri dari komponen selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang berpotensi tinggi sebagai sumber karbon. Keuntungan superkapasitor berbasis biomassa yaitu dapat menghasilkan struktur pori alami, dan mudah diperoleh karena keseterdaan melimpah. Pembuatan elektroda dimulai dengan pengolahan biomassa menjadi karbon, dan proses aktivasi. Karbon aktif dari biomassa mempunyai luas permukaan spesifik mencapai $2000 \text{ m}^2/\text{g}$. Proses aktivasi dilakukan menggunakan nitrogen, oksigen, karbon dioksida, dan air untuk menghilangkan unsur selain karbon dan pembentukan struktur pori untuk meningkatkan luas permukaan spesifik elektroda [1]. Karbon aktif yang terdiri dari senyawa amorf yang dapat mengadsorpsi gas dan senyawa kimia tertentu, tergantung besar volume pori dan luas permukaannya. Karena itu, daya serap karbon aktif juga sangat besar [2]. Bahan baku karbon aktif adalah semua bahan yang mengandung karbon, baik dari tumbuhan, binatang, atau barang tambang. Karbon aktif dapat dipergunakan untuk berbagai industri, seperti bidang medis, pangan, penjernihan air dan lain-lain. Hampir 70% produk karbon aktif digunakan untuk pemurnian dalam sektor minyak kelapa, farmasi, dan kimia [3]. Proses pembuatan karbon aktif sebagai material elektroda untuk superkapasitor dilakukan dengan tiga tahapan, yaitu dehidrasi, karbonisasi, dan aktivasi.

Telah banyak dilakukan penelitian pembuatan karbon aktif menggunakan biomassa berbeda seperti batang ubi kayu muda [4], kulit durian [5], pelepah kelapa sawit [6], dan tandan kosong kelapa sawit [7]. Penelitian ini menggunakan bahan dasar daun jahe merah sebagai material elektroda. Karena memiliki kandungan karbon dari senyawa kimia hemiselulosa selulosa yang tinggi, dan komponen atsiri. Secara morfologi jahe merah tersusun atas akar, batang, bunga, dan daun. Rimpang jahe merah digunakan sebagai obat tradisional oleh masyarakat Indonesia karena memiliki komponen atsiri paling tinggi sekitar 2,58-3,90% dan oleoresin 3%. Menurut

penelitian Hemani dan Haryani (2011), jahe merah mempunyai kandungan pati sebanyak 52,9% [8]. Berdasarkan kandungannya ini, jahe merah diharapkan mampu menghasilkan karbon aktif berpori dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Selain itu daun jahe merah belum pernah diteliti sebagai bahan dasar elektroda. Penelitian ini fokus pada perbedaan konsentrasi aktivator $ZnCl_2$ 0,1M dan 0,5M serta perbedaan elektrolit 1M KOH dan 1M Na_2SO_4 . Perbedaan ini diharapkan menghasilkan pengaruh pada kinerja superkapasitor. Pembuatan karbon aktif dengan menggunakan limbah daun jahe merah diharapkan dapat mengurangi pencemaran lingkungan serta menambah nilai guna dari daun jahe merah.

METODE PENELITIAN

Pengolahan limbah biomassa daun jahe merah menjadi karbon aktif berpori sebagai elektroda pada sel superkapasitor dilakukan dengan beberapa tahapan. Ruang lingkup penelitian ini adalah sintesis material karbon nanoteknologi. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah daun jahe merah sebagai material dasar karbon, $ZnCl_2$ 0,1M dan 0,5M sebagai bahan pengaktif kimia, H_2SO_4 1M dan KOH 1M sebagai sumber larutan elektrolit, aquades sebagai agen penetral. Adapun alat penting yang digunakan adalah oven, mortar, ballmilling, ayak, seperangkat *hot plate*, *hydraulic press*, dan *furnace*.

Bahan dasar limbah daun jahe merah yang dikumpulkan dari perkebunan masyarakat daerah Rengat Kabupaten Indragiri Hulu, Riau. Sebanyak 3 kg sampel dipotong hingga ukuran 3-5 cm untuk mempermudah proses pengeringan. Pengeringan dilakukan di bawah sinar matahari selama 3 hari, dilanjutkan menggunakan oven pada suhu $110^\circ C$ selama 48 jam untuk mengurangi kadar air pada sampel. Pengeringan dilakukan hingga susut massa di bawah $\leq 6\%$. Selanjutnya, prakarbonisasi dilakukan pada rentang suhu $50-250^\circ C$ selama 2,5 jam menggunakan oven vakum. Prakarbonisasi dilakukan dengan cara menyiapkan sampel sebanyak 30 gram,

kemudian dimasukkan kedalam tabung *stainless steel*. Suhu awal oven diatur $50^\circ C$, setiap 30 menit suhu dinaikan sebesar $50^\circ C$ hingga suhu $250^\circ C$. Proses ini mengubah sampel menjadi lebih rapuh dan berwarna cokelat kehitaman. Selanjutnya, sampel dihaluskan menggunakan mortar dengan cara menumbuk sampel secara langsung untuk menghasilkan sampel dalam skala millimeter. Sampel dihaluskan kembali menggunakan *ballmilling* untuk menghasilkan partikel dalam ukuran mikro. Prinsip kerja *ball milling* yaitu memanfaatkan pertumbukan antar bola baja di dalam tabung vakum selama 20 jam. Setelah sampel daun jahe merah selesai di *ball milling*, sampel tadi di ayak menggunakan ayakan $60 \mu m$. Proses pengayakan dilakukan dengan bantuan kuas untuk mempermudah meloloskan sampel. Pengayakan ini bertujuan agar mendapatkan sampel dengan partikel karbon $\leq 60 \mu m$. Selanjutnya, sampel diaktivasi menggunakan penambahan bahan kimia $ZnCl_2$ 0,1M dan 0,5M untuk melihat pengaruh dari aktivator terhadap kapasitas elektroda. Proses aktivasi kimia dilakukan pada suhu konstan $80^\circ C$ dengan kecepatan pengadukan 300 rpm untuk menghomogenkan sampel. Sampel dicetak menggunakan alat pengepress dengan massa penekanan hingga 8 ton untuk memadatkan karbon. Proses pirolisis karbon daun jahe merah dilakukan dalam sistem terintegrasi satu langkah. Dimana, karbonisasi dimulai dari suhu ruang hingga $600^\circ C$ dengan serapan gas N_2 dilanjutkan dengan aktivasi fisika hingga suhu $800^\circ C$ dalam pengaruh gas CO_2 . Selanjutnya, sampel dinetralkan menggunakan metode perendaman dalam 1 L air suling. Setelah itu sampel dikeringkan kembali di dalam oven suhu konstan $110^\circ C$ selama 2 hari. Sampel koin karbon kering di poles untuk dikarakterisasi sifat elektrokimianya.

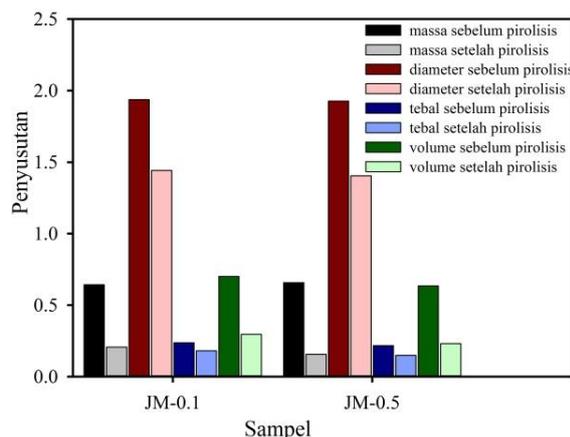
Metode karakterisasi yang digunakan terdiri dari pengujian sifat fisis dan elektrokimia dari elektroda. Pengujian sifat fisis dikarakterisasi melalui analisis susut massa, diameter dan ketebalan koin karbon sebelum dan setelah pirolisis. Lebih lanjut, karakterisasi sifat

elektrokimia dilakukan menggunakan metode siklik voltametri (*cyclic voltammetry*, CV) dan *galvanostatic charge discharge* (GCD). Pengujian dilakukan pada jendela potensial rendah 0 sampai 1 V, dalam pengaruh elektrolit KOH dan NaOH.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyusutan Massa

Data perubahan penyusutan koin karbon didapat dengan mengukur massa, diameter dan ketebalannya sebelum dan setelah pirolisis. Tingkat kemurnian karbon diperoleh melalui proses karbonisasi. Struktur pori, dan pertambahan diameter pori dihasilkan melalui aktivasi fisika gas CO₂ [9]. Data penyusutan ini ditampilkan dalam bentuk grafik berdasarkan variasi konsentrasi zat pengaktif ZnCl₂ yaitu 0,1M dan 0,5M. Penyusutan massa, diameter, ketebalan dan volume untuk elektroda karbon daun jahe merah sebelum dan setelah proses pirolisis ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Penyusutan massa, diameter, tebal, dan volume sampel koin karbon sebelum dan setelah pirolisis untuk karbon daun jahe merah.

Gambar 1 menunjukkan bahwa kedua sampel mengalami penyusutan yang cukup signifikan setelah berlangsungnya proses karbonisasi dan aktivasi fisika. Penyusutan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti aktivasi kimia, karbonisasi, dan aktivasi fisika. Aktivasi kimia menyebabkan zat pengaktif bereaksi dengan serbuk karbon. Proses

karbonisasi menghilangkan unsur pengotor selain karbon melalui penguapan yang menghasilkan strukturpori [10]. Sedangkan proses aktivasi fisika yang terjadi pada suhu 600°C sampai 800°C dapat menghilangkan zat pengotor yang menutupi pori, sehingga dapat menyempurnakan struktur pori [11].

Tabel 1. Persentase penyusutan massa, diameter, tebal dan volume koin karbon daun jahe merah.

Sampel	Persentase penyusutan (%)			
	Massa	Diameter	Tebal	Volume
JM-0,1	66	26	25	57
JM-0,5	76	27	32	63

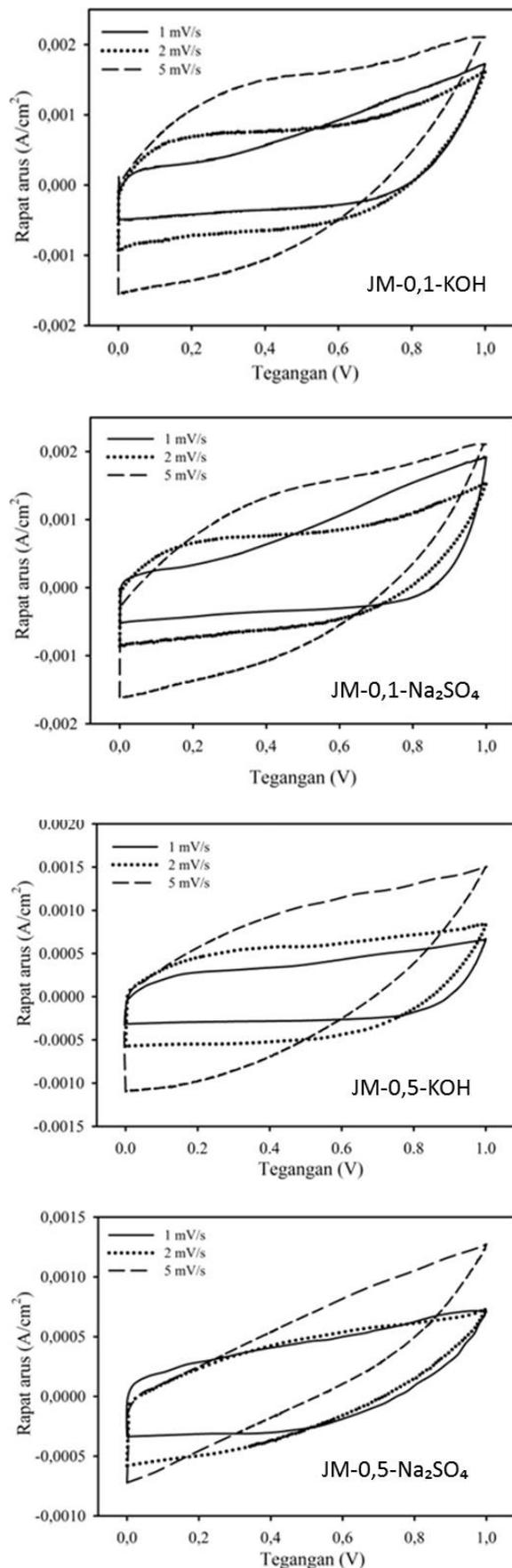
Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat besar nilai bahwa penyusutan massa, diameter dan ketebalan yang dialami koin karbon berbasis daun jahe merah untuk aktivator ZnCl₂ 0,1M dan 0,5M. penambahan konsentrasi aktivator ZnCl₂ dari 0,1M menjadi 0,5M dapat meningkatkan penguapan sampel yang ditandai dengan pertambahan nilai penyusutan. Hal ini karena penambahan aktivator ZnCl₂ pada konsentrasi rendah 0,1M dapat membantu proses penguapan unsur selain karbon yang terdapat pada sampel. Penambahan konsentrasi aktivator ZnCl₂ menjadi yaitu 0,5M dapat menambah pengurangan massa elektroda hingga dari 66% sampai 76%. Penurunan densitas pada konsentrasi 0,5M ini merupakan kondisi optimum untuk menghasilkan struktur dan ukuran poripaling baik untuk karbon aktif pada sebuah elektroda. Kondisi ini, juga dapat mengoptimalkan daya serap sehingga mengindikasikan luas permukaan spesifik karbon aktif yang lebih tinggi. Penguapan unsur-unsur selain karbon seperti kelembapan, air, gas, dan zat volatil lainnya dapat menghasilkan struktur pori yang berbeda pada sampel karbon aktif. Diharapkan dari adanya pembentukan struktur pori ini dapat meningkatkan daya serap ion oleh elektroda yang dihasilkan. Dimana, pembuatan elektroda untuk superkapasitor dengan prinsip penyerapan ion-ion yang berasal dari elektrolit yang terurai untuk menyimpan energi.

Cyclic Voltammetry (CV)

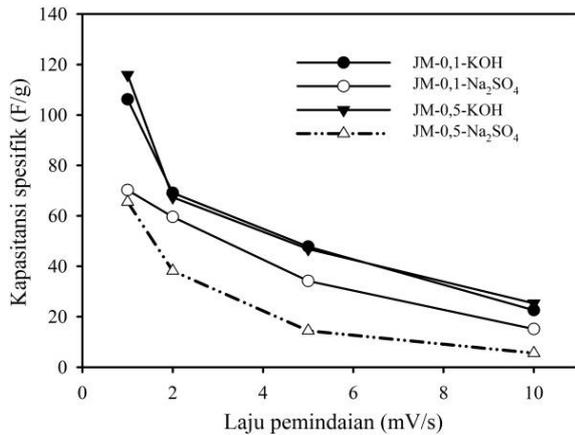
Sifat elektrokimia karbon aktif dari elektroda superkapasitor dapat diukur menggunakan CV. CV digunakan untuk mengetahui nilai kapasitansi spesifik dari elektroda karbon dengan menggunakan alat *Physics CV UR Rad-ER 6481*. Hasil dari pengukuran ini berupa kurva persegi panjang terdistorsi yang menandakan bahwa superkapasitor memiliki sifat EDLC yang normal untuk bahan biomassa [12].

Luas kurva yang dihasilkan menunjukkan besarnya nilai kapasitansi spesifik. Kurva yang luas menandakan nilai kapasitansi spesifik yang besar. Pada pengukuran ini, data arus terbagi menjadi dua yaitu arus *charge* (I_c) dan *discharge* (I_d). Arus *charge* merupakan arus yang terjadi saat pengisian muatan yang berasal dari elektrolit yang terurai menjadi ion bermuatan saat tegangan dinaikkan dari 0 hingga 1 V, dan arus *discharge* (I_d) merupakan arus saat pengosongan muatan ketika tegangan di turunkan ke keadaan semula. Pada pengujian ini elektroda karbon daun jahe merah dalam pengaruh elektrolit berair 1M KOH dan 1M Na_2SO_4 . Grafik hasil pengukuran CV untuk konsentrasi aktivator ZnCl_2 0,1M dan 0,5M dari elektroda daun jahe merah dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2 memperlihatkan hubungan antara rapat arus dan tegangan pada laju pemindaian (1, 2 dan 5) mV/s dari tegangan 0 sampai 1 V untuk elektroda karbon daun jahe merah dengan perbedaan konsentrasi aktivator dan pengaruh elektrolit. Luas daerah yang terbentuk antara arus *charge* (I_c) dan arus *discharge* (I_d) mengindikasikan nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan. Berdasarkan Gambar 2 juga dapat dilihat bahwa nilai kapasitansi spesifik untuk sampel dengan aktivator ZnCl_2 0,1M dan 0,5M dalam pengaruh elektrolit berair 1M KOH dan 1M Na_2SO_4 memiliki kurva pemindaian terbesar pada laju pemindaian 1 mV/s yang menandakan nilai kapasitansi spesifik tinggi. Sedangkan grafik laju pemindaian dan nilai kapasitansi spesifik karbon aktif daun jahe merah dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Kurva CV untuk karbon daun jahe merah dengan konsentrasi aktivator dan elektrolit berbeda.



Gambar 3. Hubungan laju pemindaian dan nilai kapasitansi spesifik dari sifat elektrokimia karbon aktif daun jahe merah

Gambar 3 memperlihatkan bahwa laju pemindaian 1 mV/s merupakan kelajuan ion optimum dalam mengisi pori elektroda dan memiliki kemampuan untuk menyimpan energi elektrokimia paling besar [13]. Hal ini dikarenakan pada waktu serapan ion yang berasal dari elektrolit yang terurai maksimal dalam mengisi pori elektroda karbon aktif daun jahe merah. Berikut nilai kuantitatif kapasitansi spesifik elektroda karbon daun jahe merah dengan aktivator ZnCl₂ 0,1M dan 0,5M di bawah pengaruh elektrolit 1M KOH dan 1M Na₂SO₄

Tabel 2. Nilai kuantitatif kapasitansi spesifik elektroda karbon daun jahe merah dengan konsentrasi aktivator dan elektrolit berbeda.

Sampel	Laju pemindaian (mV/s)			
	1	2	5	10
JM-0,1-KOH	106,2	69,15	47,78	22,57
JM-0,1-Na ₂ SO ₄	70,22	59,61	34,16	15,11
JM-0,5-KOH	115,90	67,40	46,86	25,32
JM-0,5-Na ₂ SO ₄	65,50	38,15	14,40	5,54

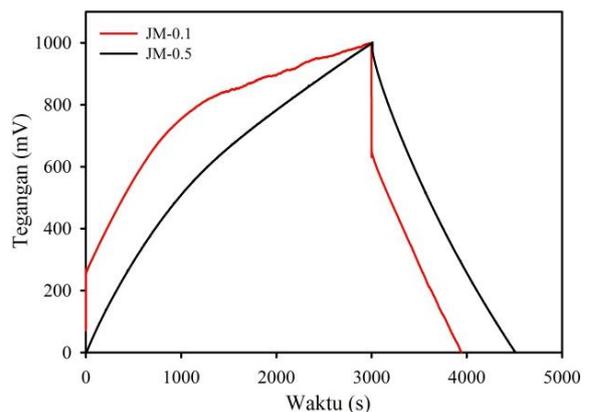
Nilai kapasitansi spesifik yang diperoleh dari penelitian ini dapat dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya menggunakan biomassa berbeda dengan aktivator yang sama.

Berikut kami sajikan nilai perbandingan nilai kapasitansi spesifik elektroda karbon daun jahe merah dengan elektroda dari bahan berbeda.

Tabel 3. Perbandingan nilai kapasitansi spesifik dari berbagai biomassa berbeda dengan karbon aktif daun jahe merah.

Biomassa	Aktivator	(Csp) (F/g)	Referensi
Wortel busuk	ZnCl ₂	235	[14]
Daun ketapang	ZnCl ₂	144	[1]
Daun Serai	ZnCl ₂	256	[15]
Limbah teh	ZnCl ₂	140	[16]
Batang jagung	ZnCl ₂	108,9	[17]
Daun jahe merah	ZnCl ₂	215	Penelitian Sekarang

Galvanostatic Charge Discharge (GCD)



Gambar 4. Grafik GCD elektroda daun jahe merah.

Analisa sifat elektrokimia diperkuat melalui pengukuran metode GCD. Sifat elektrokimia ini dievaluasi menggunakan dua elektroda dibawah pengaruh elektrolit berair 1M KOH untuk sampel JM-0,1 dan JM-0,5 menggunakan alat CD UR Red-ER 2018 dengan arus konstan 1 A. Gambar 4. menampilkan kurva hasil pengukuran GCD untuk kedua sampel, yang menunjukkan hubungan antara tegangan

terhadap waktu selama proses pengisian dan pengosongan elektroda berbasis daun jahe merah. Kurva yang dihasilkan dari karakterisasi metode ini memiliki bentuk kurva seperti segitiga sama kaki terdistorsi. Berikut disajikan tampilan kurva GCD untuk elektroda daun jahe merah dengan aktivator $ZnCl_2$ konsentrasi 0,1M dan 0,5M.

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa waktu charge memiliki peran besar dalam meningkatkan nilai kapasitansi spesifik untuk elektroda daun jahe merah. Pengukuran GCD dilakukan pada rentang tegangan potensial 0 V hingga 1 V dengan arus konstan 1 mA dan laju pemindaian 1 mV/s. Menurut Ismanto *et al.* (2010) perbedaan waktu pada saat proses *charge-discharge* merupakan faktor yang dapat mempengaruhi bentuk simetri dari kurvapengukuran [18]. JM-0,5 menunjukkan waktu pengukuran yang lebih panjang dari JM-0,1 yang ditandai dengan bentuk kurva segitiga sama kaki yang lebih besar. Hal ini mengkonfirmasi bahwa sampel JM-0,5 memiliki sifat elektrokimia yang sangat baik. Berikut disajikan tabel dan nilai kapasitansi spesifik, rapat energi, dan rapat daya untuk setiap variasi konsentrasi elektroda daun jahe merah.

Tabel 4. Nilai kapasitansi spesifik, energi, daya dari elektroda karbondaun jahe merah berdasarkan uji GCD.

Kode Sampel	Csp (F/g)	E (Wh/kg)	P (W/kg)
JM-0,1	74	10,28	37,07
JM-0,5	96,03	13,33	48,11

Berdasarkan Tabel 4 terlihat bahwa nilai kapasitansi yang dihasilkan pada pengujian GCD menunjukkan bahwa kapasitansi spesifik tertinggi dan kondisi optimum dimiliki oleh sampel JM-0,5 di bawah pengaruh elektrolit 1M KOH. Elektroda karbon aktif dengan konsentrasi aktivator 0,5M memiliki waktu pengosongan yang lebih lama dibandingkan dengan konsentrasi 0,1M. Hal ini dikarenakan waktu yang cukup untuk ion berdifusi mengisipori elektroda selama pengukuran dan meningkatkan nilai kapasitansi spesifik. Yuhe

et al. (2016) menyatakan bahwa waktu pengosongan sangat berpengaruh pada kinerja elektroda superkapasitor [19]. Penurunan yang signifikan selama proses pengosongan disebabkan oleh jari-jari pori yang lebih kecil sehingga mengganggu proses transportasi ion elektrolit. Oleh karena itu, dibutuhkan waktu bagi ion elektrolit untuk mencapai permukaan elektroda karbon aktif. Hasil pengujian GCD ini bersesuaian dengan pengujian CV dimana sampel JM-0,5 juga menghasilkan nilai kapasitansi tertinggi dari pada JM-0,1. Hal ini juga didukung oleh datapenyusutan massa, diameter, tebal, dan volume koin karbon setelah pirolisis.

KESIMPULAN

Limbah daun Jahe merah telah berhasil diolah menjadi karbon aktif berpori untuk elektroda superkapasitor. Pengolahan yang tidak rumit dan hemat biaya karena tidak memerlukan perekat tambahan dalam pengolahannya, dan dapat meningkatkan nilai guna dari limbah biomassa. Aktivasi kimia $ZnCl_2$ dalam pirolisis terintegrasi satu tahap dapat meningkatkan kapasitas penyimpanan muatan listrik. Sifat elektrokimia diuji pada sistem dua elektroda simetris dengan elektrolit 1M KOH dan 1M Na_2SO_4 pada tegangan 0-1 V laju pemindaian pemindaian 1, 2, 5 dan 10 (mV/s). Perbedaan konsentrasi aktivator dan elektrolit yang digunakan dapat meningkatkan kemampuan elektrokimia dari 65,50 F/g menjadi 115,90 F/g. Hasil ini mendukung potensi tinggi dalam pembuatan elektroda karbon berbasis daun jahe merah untuk meningkatkan kinerja penyimpanan energi elektrokimia superkapasitor.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, Republik Indonesia melalui Proyek Tahun Kedua World Class Riset (WCR) (1627/UN.19.5.1.3/PT.01.03/2022).

REFERENSI

1. Taer, E., Padang, E., Yanti, N., & Taslim, R. (2021). Etlingera elatior leaf agricultural waste as activated carbon monolith for supercapacitor electrodes. *Journal of Physics: Conference Series*, **2049**(1), 012072.
2. Darmawan, S. (2008). *Sifat arang aktif tempurung kemiri dan pemanfaatannya sebagai penyerap emisi formaldehida papan serat berkerapatan sedang*. Tesis, Institut Pertanian Bogor.
3. Pari, G., dan Sailah, I. 2001. Pari, G., & Sailah, I. (2001). Pembuatan Arang Aktif dari Sabut Kelapa Sawit dengan Bahan Pengaktif NH_4HCO_3 dan $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ Dosis Rendah 1. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, **19**(4), 231-244.
4. Taer, E., Apriwandi, A., Taslim, R., Agutino, A., & Yusra, D. A. (2020). Conversion *Syzygium oleana* leaves biomass waste to porous activated carbon nanosheet for boosting supercapacitor performances. *Journal of Materials Research and Technology*, **9**(6), 13332-13340.
5. 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), 19-24.
6. Gea, S., Muis, Y., Novita, T., & Piliang, A. F. (2018). Synthesis of carbon nanodots from cellulose nanocrystals oil palm empty fruit by pyrolysis method. *Journal of Physics: Conference Series*, **1120**(1), 012071.
7. Hardi, A. D., Joni, R., Syukri, S., & Aziz, H. (2020). Pembuatan Karbon Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Fisika Unand*, **9**(4), 479-486.
8. Ekasari, V., & Yudoyono, G. (2013). Fabrikasi DSSC dengan dye ekstrak jahe merah (*Zingiber officinale* linn var. *rubrum*) variasi larutan TiO_2 nanopartikel berfase anatase dengan teknik pelapisan spin coating. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, **2**(1), B15-B20.
9. Sembiring, S. (2014). *Preparasi dan Karakterisasi Bahan*. Buku Ajar Jurusan Fisika Universitas Lampung: Universitas Lampung.
10. Yusriwandi, E. T., Farma, R., & Taer, E. (2017). Pembuatan dan Karakterisasi Elektroda Karbon Aktif dengan Karbonisasi dan Aktivasi Bertingkat Menggunakan Gas CO_2 dan Uap Air. *Edu Research*, **6**(1), 21-21.
11. Miller, E. E., Hua, Y., & Tezel, F. H. (2018). Materials for energy storage: Review of electrode materials and methods of increasing capacitance for supercapacitors. *Journal of Energy Storage*, **20**, 30-40.
12. Zhao, L., Cao, X., Zheng, W., Scott, J. W., Sharma, B. K., & Chen, X. (2016). Copyrolysis of biomass with phosphate fertilizers to improve biochar carbon retention, slow nutrient release, and stabilize heavy metals in soil. *Acs Sustainable Chemistry & Engineering*, **4**(3), 1630-1636.
13. Song, K., Ni, H., & Fan, L. Z. (2017). Flexible graphene-based composite films for supercapacitors with tunable areal capacitance. *Electrochimica Acta*, **235**, 233-241.
14. Ahmed, S., Ahmed, A., & Rafat, M. (2018). Supercapacitor performance of activated carbon derived from rotten carrot in aqueous, organic and ionic liquid based electrolytes. *Journal of Saudi Chemical Society*, **22**(8), 993-1002.
15. Taer, E., Yanti, N., Taslim, R., & Apriwandi, A. (2022). Interconnected micro-mesoporous carbon nanofiber derived from lemongrass for high symmetric supercapacitor performance.

- Journal of Materials Research and Technology*, **19**, 4721-4732.
16. Inal, I. I. G., & Aktas, Z. (2020). Enhancing the performance of activated carbon based scalable supercapacitors by heat treatment. *Applied Surface Science*, **514**, 145895.
 17. Juliani, R. (2019). Carbon Electrodes from Corn Stalk Core for Supercapacitor Application. *Journal of Technomaterial Physics*, **1**(1), 22-29.
 18. Ismanto, A. E., Wang, S., Soetaredjo, F. E., & Ismadji, S. (2010). Preparation of capacitor's electrode from cassava peel waste. *Bioresource Technology*, **101**(10), 3534-3540.
 19. Cao, Y., Wang, K., Wang, X., Gu, Z., Fan, Q., Gibbons, W., ... & Shrestha, M. (2016). Hierarchical porous activated carbon for supercapacitor derived from corn stalk core by potassium hydroxide activation. *Electrochimica Acta*, **212**, 839-847.



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