



Sintesis dan Karakterisasi Elektroda Komposit Karbon-Kitosan Berbasis Karbon Biomassa yang Diaktivasi Menggunakan Metode *Microwave*

Deden Nurdandi, Widodo Budi Kurniawan, Herman Aldila*

Jurusan Fisika, Universitas Bangka Belitung

Jl. Kampus Peradapan, Kampus Terpadu Balunijuk Gd. Dharma Penelitian Lt 1, Bangka, Kepulauan Bangka Belitung, Indonesia 33172

*E-mail korespondensi: dedennurdandi149@gmail.com

Info Artikel:

Dikirim:

25 April 2022

Revisi:

10 Juni 2022

Diterima:

30 Juni 2022

Kata Kunci:

Karbon, Ukuran Pori dan Kapasitansi Spesifik

Abstract

In this research, the synthesis and characterization of chitosan modified carbon composites based on biomass carbon has been carried out using the microwave method. Chemically activated carbon with 2.5% H₃PO₄ activator was stirred using a magnetic stirrer for 1 hour and allowed to stand for 24 hours. The carbon was then physically reactivated using a microwave for 20 minutes with a power variation of 800, 1000 and 1200 watts and a Scanning Electron Microscopy (SEM) test was carried out. After the SEM test, chitosan-modified carbon was synthesized with a composition ratio of 1:1, 2:1 and 3:1 and the specific capacitance was measured using the Galvanostatic Charge-Discharge (GCD) test. The results of the SEM test which were analyzed using ImageJ software-based image processing methods showed that the value of sphericity, pore size and carbon porosity decreased with increasing microwave power used. The optimum conditions based on the value of Sphericity, pore size and porosity were obtained at 800 watts of microwave power with values of 0.952, 0.832 m, and 25.87%, respectively, which were included in the macropore size (>50 nm). Because the higher the power used, the smaller the pore area and porosity. The electrode-specific capacitance values are 3.4×10^{-1} F/g, 24.02 F/g, and 1.3×10^{-1} F/g, respectively. Electrodes with a ratio of 2:1 have the largest capacitance value, because they can be charged by an electric charge. The longer the charge-discharge process, the greater the capacitance value, so the curve will approach a more symmetrical isosceles triangle shape.

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan pokok dalam perkembangan teknologi modern. Tetapi di sisi lain keterbatasan sumber energi fosil beserta dampak negatif yang dihasilkan bagi lingkungan menuntut pengembangan sumber energi baru terbarukan. Media penyimpanan energi yang dipakai sehari-hari pada alat elektronik adalah baterai dan kapasitor. Namun baterai

yang sering digunakan untuk menjadi sumber daya dengan voltase rendah memiliki kelemahan, yaitu jika sering dipakai baterai akan mengalami *Voltage Drop* [1]. Oleh karena itu, dibutuhkan perangkat penyimpan energi listrik yang tahan lama, memiliki kapasitas simpan tinggi, dan memiliki waktu pengisian (*Charging*) yang relatif singkat seperti superkapasitor [2].

Superkapasitor merupakan salah satu perangkat penyimpan energi listrik yang dikembangkan para ilmuwan dan ahli teknologi. Dengan adanya superkapasitor yang terpasang dengan baterai akan meningkatkan performa dan umur pakai baterai [1]. Superkapasitor memiliki kapasitas penyimpanan yang jauh lebih besar dari kapasitor biasa, proses pengisian muatan yang cepat, dan tahan lama sehingga terobosan yang menarik di bidang energi. Komponen penyusun superkapasitor antara lain, elektrolit, pengumpul arus, separator, dan elektroda. Komponen yang paling berpengaruh terhadap kapasitas penyimpanan energi superkapasitor adalah elektroda, sehingga kapasitas menjadi fokus dari bahan dasar penyusun pembuatan elektroda [3]. Karbon aktif banyak digunakan pada berbagai aplikasi elektrokimia salah satunya sebagai bahan dasar elektroda.

Karbon aktif memiliki kelebihan, yaitu mudah didapatkan, biaya murah, distribusi ukuran pori yang berkisar 0 nm – 50 nm, memiliki konduktivitas listrik yang baik [4], ramah lingkungan, dan aksesibilitas yang tinggi terhadap elektrolit serta bersifat stabil [5], fiber/serat, komposit, luas permukaan yang luas dan porinya yang bisa diatur [6]. Karbon aktif merupakan material karbon berpori yang memiliki porositas (*porosity*) dan luas area sekitar 300 – 2000 m²/gr [7]. Beberapa material elektroda yang berbahan dasar karbon aktif dari limbah biomassa yang meliputi, ampas kopi, ampas kacang [8], limbah cangkang sawit [9], keramik lantai [6], tempurung biji karet [10], tepung tapioka [11], sekam padi [12], kulit singkong [13], kulit pisang [14], dan tangkai buah lada [7]. Proses untuk menghasilkan karbon aktif salah satunya adalah proses aktivasi.

Proses aktivasi dapat meningkatkan kemampuan penyerapan karbon [15]. Proses aktivasi memiliki beberapa cara antara lain aktivasi kimia, aktivasi fisika dan gabungan kimia dan fisika [16]. Pada tahap aktivasi, terlebih dahulu arang direndam dengan bahan pengaktif antara lain: NaCl, NaOH, KOH, ZnCl₂, H₂SO₄, dan H₃PO₄. Penelitian sebelumnya mengemukakan bahwa H₃PO₄ memberikan hasil yang lebih baik sebagai agen aktivasi jika dibandingkan bahan pengaktif lainnya [17], tidak mencemari lingkungan dan proses penetralan produk karbon aktif yang mudah. Adapun beberapa metode modifikasi untuk mengembangkan luas permukaan pada karbon aktif, seperti *ozone treatment*, *impregnation treatment*, *surfactant treatment*, *plasma treatment*, *microwave treatment* dan lainnya [18].

Microwave memiliki manfaat sebagai perangkat multilayer dengan kinerja elektroda listrik yang baik dengan menggunakan logam elektroda konduktif internal yang tinggi seperti perak dan tembaga [19]. *Microwave* juga memiliki kelebihan dibandingkan dengan pemanasan konvensional, antara lain lebih hemat energi, memanaskan campuran dalam waktu yang lebih cepat dan menghasilkan panas yang lebih beragam, serta material yang dipanaskan akan menyerap gelombang mikro yang tersebar [20].

Berdasarkan uraian diatas maka dilakukan penelitian selanjutnya yaitu sintesis dan karakterisasi elektroda komposit karbon-kitosan berbasis karbon biomassa yang diaktivasi menggunakan metode *microwave*. Penelitian ini dilakukan aktivasi biomassa kulit lada dengan aktivator kimia H₃PO₄ yang dilanjutkan dengan pemanasan menggunakan metode *microwave* menggunakan parameter daya 800, 1000, dan 1200 watt dan waktu selama 20 menit. Selanjutnya dilakukan karakterisasi sampel terhadap pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengetahui pengaruh daya terhadap nilai *sphericity*, ukuran pori dan porositas, serta *Galvanostatic Charge-Discharge* (GCD) untuk menentukan nilai kapasitansi spesifik pada elektroda.

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini, yaitu bagaimana karakteristik variasi daya gelombang mikro terhadap nilai *sphericity*, ukuran pori dan porositas pada karbon, serta karakteristik kapasitansi spesifik elektroda komposit karbon-kitosan terhadap variasi karbon biomassa limbah kulit lada.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya oven bolde, magnetik stirer, ayakan 100 mesh, mortar, labu ukur 250 ml, gelas ukur 50 ml, gelas beker 250 ml dan 500 ml, pipet tetes, spatula, corong 100 ml, neraca digital, pH meter digital, kertas saring, *Galvanostatic Charge-Discharge* (GCD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *microwave*. Adapun bahan yang harus disiapkan dalam penelitian ini antara lain, biomassa kulit lada, akuades, kitosan udang, *Polyvinyl Alcohol* (PVA), asam fosfat (H_3PO_4) 85%.

Prosedur Penelitian

a. Preparasi dan Karbonisasi Limbah Kulit Lada

Tahapan preparasi biomassa kulit lada untuk dilakukan dengan memisahkan kotoran-kotoran yang menempel pada kulit lada dengan cara dicuci dan dikeringkan dibawah sinar matahari. Setelah dilakukan preparasi limbah kulit lada, selanjutnya dilakukan prakarbonisasi dengan dipanaskan menggunakan oven pada suhu 130 °C selama 2 jam. Kemudian digerus dengan mortal dan diayak dengan menggunakan ayakan berukuran 100 mesh sampai mendapatkan serbuk limbah kulit lada.

b. Tahap Aktivasi

Setelah serbuk karbon biomassa kulit lada didapatkan, Karbon sebanyak 20 gram diaktivasi kimia dengan menggunakan aktivator H_3PO_4 2,5%. Selanjutnya diaduk menggunakan *magnetic stirer* selama 1 jam dan didiamkan selama 24 jam.

Sebanyak 20 gram karbon limbah kulit lada yang telah dilakukan tahap aktivasi kimia. Selanjutnya diaktivasi kembali secara fisika menggunakan metode *microwave* selama 20 menit, dengan variasi daya 800, 1000, dan 1200 watt. Kemudian sampel yang telah dilakukan dengan *Microwave* dicuci menggunakan akuades sebanyak 7 kali dengan bertujuan untuk menetralkan H_3PO_4 . Lalu sampel tersebut dikeringkan dengan oven pada suhu 110 °C selama 6 jam. Setelah didapatkan sampel tersebut, dilakukan pengujian SEM untuk mengetahui luas permukaan pori.

c. Karakterisasi Sampel Karbon Menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Pengujian karakterisasi SEM dilakukan untuk mendapatkan mikrograf dari karbon setelah aktivasi *microwave* dengan variasi daya. Setelah itu dilakukan analisis menggunakan software ImageJ untuk mengetahui morfologi luas permukaan dan porositas pada karbon. Pengujian tersebut dilakukan di Laboratorium Fakultas MIPA Universitas Diponegoro.

d. Pembuatan Serbuk Elektroda Karbon Modifikasi Kitosan

Pembuatan elektroda karbon termodifikasi dengan kitosan pada perbandingan komposisi 1:1, 2:1, dan 3:1 sebanyak 1.5 gram. Selanjutnya elektroda di lakukan dengan pengukuran nilai kapasitansi spesifik menggunakan *Galvanostatic Charge-Discharge* (GCD), pada tegangan 0.0 s/d 1.0 Volt. Sehingga diperoleh voltammogram tegangan dan waktu.

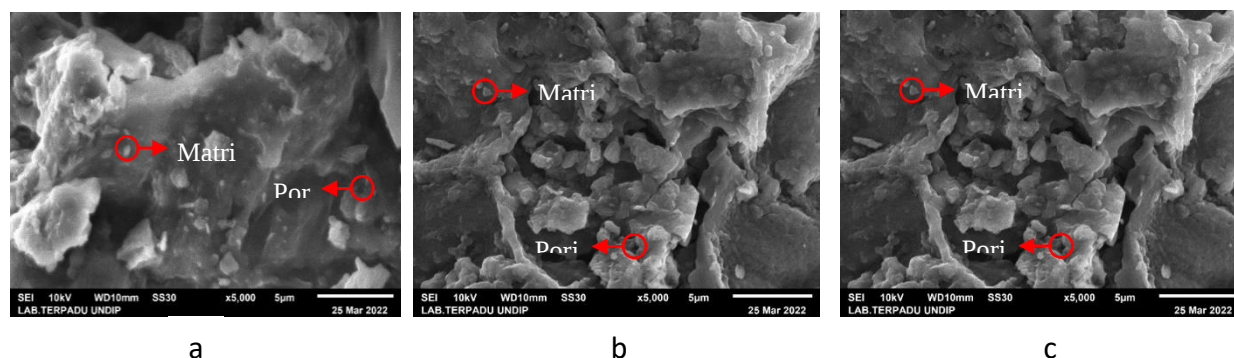
e. Karakterisasi Sampel Karbon Termodifikasi Kitosan Menggunakan *Galvanostatic Charge-Discharge* (GCD).

Pengujian karakterisasi GCD dilakukan untuk mendapatkan nilai kapasitansi spesifik pada karbon menggunakan konsep pengujian elektrokimia. Pengujian tersebut dilakukan di NRE Lab CV. Inovasi Teknologi Nano Medan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Analisis Pori dan Porositas Karbon Kulit Lada

Berdasarkan Gambar 1 menunjukkan hasil pengujian karbon menggunakan SEM dengan bantuan *microwave* selama 20 menit dengan variasi daya 800 watt, 1000 watt, dan 1200 watt.



Gambar 1. Mikrograf Karbon Kulit Lada Putih dengan metode *Microwave* (a) 800 watt, (b) 1000 watt, dan (c) 1200 watt.

Mikrograf karbon kulit lada putih dengan perbesaran 5000 kali yang dilakukan pada proses pengolahan citra dengan software ImageJ. Mikrograf karbon kulit lada putih memiliki faktor konversi skala piksel sebesar 100 piksel/mikrometer. Gambar 1 menunjukkan perbedaan pada pori dan matriks, karena setiap variasi memiliki hasil yang berbeda.

Berdasarkan data hasil analisis estimasi nilai *sphericity*, ukuran pori dan porositas dengan parameter luas daerah dapat dilihat pada Tabel 1, karbon kulit lada putih memiliki nilai ukuran pori yang masuk kedalam kategori makropori (>50 nm). Metode pendekatan pada proses tersebut menggunakan perangkat lunak ImageJ. Hal ini untuk menentukan estimasi ukuran pori yang didasarkan pada dua parameter yaitu luas daerah dan perimeter.

Tabel 1 Hasil analisis mikrostruktur menggunakan metode pengolahan citra

Parameter	Daya <i>Microwave</i>		
	800 watt	1000 watt	1200 watt
<i>Sphericity</i> (σ)	0.952	0.518	0.21
Diameter Pori (d)	0.832 μm	0.412 μm	0.18 μm
Porositas	25.87 %	17.19 %	13.77 %

Nilai perimeter yang didapatkan dalam pengolahan citra secara berturut-turut yaitu 6.375, 2.868, dan 1.325. Penentuan nilai *Sphericity* berdasarkan parameter perimeter dapat digunakan pada persamaan (1). Data *sphericity* pada Tabel 1 mendeskripsikan geometris pori yang terdeteksi. Nilai *sphericity* memiliki rentang antara 0 hingga 1, jika nilai *sphericity* bernilai satu maka pori akan berbentuk lingkaran sempurna. Data yang didapatkan untuk nilai *sphericity* masing-masing memiliki rentang nilai antara 0.21 – 0.952. Hal ini menunjukkan bahwa geometris pori yang terdeteksi tidak membentuk lingkaran sempurna. Nilai terbesar yang didapatkan dalam penelitian ini terdapat pada sampel dengan variasi daya 800 watt sebesar 0.952 dan nilai terkecil terdapat di variasi daya 1200 watt sebesar 0.21. Sehingga semakin kecil daya yang digunakan maka semakin mendekati nilai lingkaran yang sempurna.

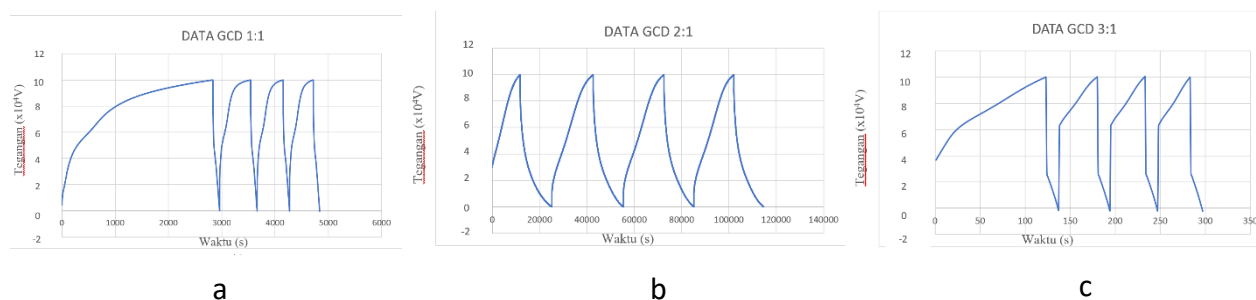
Penentuan menggunakan parameter luas daerah didapatkan nilai berturut-turut yaitu 1.711 μm , 0.42 μm , dan 0.0823 μm . Untuk menentukan nilai diameter pori (d) dapat menggunakan persamaan (2). Sampel dengan variasi 800 watt memiliki nilai ukuran pori (diameter) rata-rata terbesar yaitu sebesar 0.832 μm , sedangkan ukuran pori yang terkecil terdapat pada daya 1200 watt sebesar 0.18 μm . Oleh karena itu, dalam fungsi sebuah karbon memiliki luas permukaan dan ukuran pori yang sangat penting dalam fungsi penyerapan [21],

dan dipertegas dalam penelitian Rijali dkk (2015) yang menyatakan karbon aktif dengan luas permukaan pori yang besar memiliki kemampuan daya serap yang baik. Hal ini menyatakan, semakin besar daya yang digunakan, maka semakin kecil ukuran pori yang didapatkan. Menurut penelitian [22] yang telah melakukan modifikasi karbon aktif dengan variasi daya, semakin tinggi daya yang diberikan akan menyebabkan berkurangnya luas permukaan, volume pori dan rusaknya struktur pori adsorben. Hal ini ditegaskan oleh Aiinsiin dkk (2021), yang menyatakan gelombang mikro yang dipancarkan semakin besar maka radiasi yang diserap oleh komponen reaksi dalam adsorben akan semakin besar pula.

Hasil persentase porositas pada karbon didasarkan pada perbedaan warna antara pori dengan matriks pada proses binerisasi. Perhitungan persentase pori dapat dihitung pada persamaan (3). Porositas pori pada karbon akan menurun seiring besarnya daya pada *microwave*. Persentase terbesar terdapat pada daya 800 watt dengan nilai sebesar 25,87% (Tabel 1).

b. Analisis Kapasitansi Spesifik Komposit Karbon-Kitosan

Analisis dengan bahan karbon dengan variasi daya 800 watt dilanjutkan dengan preparasi karbon termodifikasi kitosan dengan perbandingan 1:1, 2:1, dan 3:1 dan dilakukan pengujian GCD. Pengujian GCD dilakukan untuk menentukan nilai kapasitansi spesifik pada rentang 0,0 – 1,0 Volt. Selanjutnya data GCD di *plot* dengan menggunakan perangkat lunak *microsoft excell* dan didapatkan Gambar 2 dibawah ini:



Gambar 2. Grafik Berdasarkan Perbandingan karbon-Kitosan (a) 1:1, (b) 2:1, dan (c) 3:1

Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan kurva GCD bahwa ketiga sampel elektroda karbon termodifikasi kitosan dengan perbandingan 1:1, 2:1, dan 3:1 menunjukkan waktu *charge-discharge* yang berbeda. Elektroda dengan perbandingan 2:1 memiliki nilai waktu *charge-discharge* yang lebih lama dari elektroda perbandingan 1:1 dan 3:1, karena semakin lama waktu yang dibutuhkan ion untuk bedifusi ke permukaan elektroda, maka nilai kapasitansi yang dihasilkan akan semakin besar dan semakin optimal proses *charge-discharge* yang terjadi selama pengukuran [23]. Menurut penelitian Ismanto dkk (2010), waktu yang lama pada saat proses *charge-discharge* merupakan faktor yang mempengaruhi bentuk simetri dari segitiga sama kaki pada grafik, sehingga kurva yang membentuk segitiga sama kaki yang lebih simetris memiliki efisiensi yang semakin tinggi pada saat *charge-discharge*. Hal ini menunjukkan bahwa elektroda karbon dapat terisi dengan baik dengan elektrolit [24].

Sampel dengan perbandingan 2:1 memiliki kurva yang terbaik dari sampel perbandingan 1:1, dan 3:1, karena pada perbandingan 2:1 dapat dilihat bahwa bentuk kurva pada gambar 2 (b) yang mendekati bentuk segitiga sempurna, hal ini mengindikasikan bahwa proses *charge-discharge* berlangsung secara seimbang. Sedangkan sampel dengan perbandingan 1:1, dan 3:1 memiliki bentuk kurva *charge* yang lebih panjang atau melengkung dibandingkan dengan kurva *discharge* nya, sehingga mengakibatkan waktu *charge* yang lebih lama dibanding waktu *discharge*, karena yang dicari dari kapasitor ialah waktu *charge* yang begitu singkat dan waktu

discharge yang begitu lama. Bentuk kurva seperti ini mengindikasikan telah terjadinya pelarutan pada elektrolit yang digunakan dalam pengujian [25].

Data hasil pengujian *galvanostatic charge-discharge* dengan menggunakan karbon termodifikasi kitosan dapat dilihat pada Tabel 2, didapatkan nilai kapasitansi spesifik terendah pada perbandingan 1:1. Hal ini dipengaruhi bahwa semakin banyak kitosan yang digunakan, menyebabkan pori-pori pada karbon tertutup oleh kitosan dan mengalami penurunan nilai kapasitansi spesifik elektroda. Pada perbandingan 2:1 menghasilkan kenaikan nilai kapasitansi spesifik dibandingkan pada perbandingan 1:1, akan tetapi pada perbandingan 3:1 mengalami penurunan. Jadi nilai kapasitansi spesifik tertinggi yang baik terdapat pada perbandingan 2:1.

Tabel 2 Hasil Uji *Galvanostatic Charge-Discharge*

Sampel (Karbon : Kitosan)	Arus (A)	Massa (g)	Δt (s)	ΔV (V)	C_{sp} (F/g)
1 : 1	5.9×10^{-3}	0.0214	1.26	1.0011400	3.4×10^{-1}
2 : 1	3.9×10^{-3}	0.0219	134.91	1.0000204	24.02
3 : 1	1.7×10^{-2}	0.0173	0.13	0.9904600	1.3×10^{-1}

Nilai kapasitansi spesifik tertinggi terdapat pada sampel dengan perbandingan 2:1 sebesar 24.02 F/g. Hal ini menunjukkan sampel perbandingan 2:1 dapat diisi dengan lebih banyak ion atau elektrolit [24] dan ion atau elektrolit akan berdifusi secara merata ke permukaan karbon hingga ke pori, sehingga mengakibatkan peningkatan lebar kurva arus *charge-discharge* yang menandakan nilai kapasitansi yang besar [26], serta sampel dengan perbandingan 2:1 memiliki waktu pengosongan yang lebih panjang dari pada sampel perbandingan 1:1 dan 3:1, karena dipengaruhi waktu *charge* dan *discharge* yang seimbang. Penelitian ini membuktikan bahwa nilai kapasitansi spesifik dari karbon termodifikasi kitosan menggunakan metode *microwave* memiliki nilai kapasitansi spesifik yang lebih besar dari peneliti sebelumnya yang dilakukan oleh Megiyo (2021) dengan nilai kapasitansi spesifik $8,2 \times 10^{-1}$ F/g, Marina (2021) sebesar 12,67 F/g, Kurniawan *et al.* (2019) sebesar $4,5 \times 10^{-1}$ F/g, Amaliah *et al.* (2018) sebesar 8870×10^{-6} F/g, dan Amiruddin (2016) sebesar $15,94 \times 10^{-6}$ F/g.

Berdasarkan nilai kapasitansi spesifik pada Tabel 2 dengan variasi 1:1, 2:1, dan 3:1 secara berturut-turut yaitu $3,4 \times 10^{-1}$ F/g, 24,02 F/g dan $1,3 \times 10^{-1}$ F/g, sehingga nilai tersebut dapat dijadikan sebagai elektroda superkapasitor, karena nilai yang didapatkan sudah termasuk kedalam rentang nilai $5,488 \times 10^{-9}$ F/g – 27×10^2 F/g [27].

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan disimpulkan bahwa hasil pengujian *Scanning Electron Microscopy* untuk karbon yang diaktivasi menggunakan *microwave* dengan variasi daya sebesar 800 watt, 1000 watt, dan 1200 watt memiliki nilai *sphericity*, ukuran pori, dan porositas yang besar secara berturut-turut yaitu sebesar 0.952, 0.832 μm , 25.87%, 0.518, 0.412 μm , 17.19 %, dan 0.21, 0.18 μm , 13.77%. Semakin besar daya yang digunakan maka semakin kecil nilai *sphericity*, ukuran pori, dan porositas yang didapatkan. Hasil pengujian *Galvanostatic Charge-Discharge* karbon termodifikasi kitosan dengan perbandingan 1:1, 2:1, dan 3:1 memiliki nilai kapasitansi spesifik berturut-turut sebesar 3.4×10^{-1} F/g, 24.02 F/g, dan 1.3×10^{-1} F/g. Berdasarkan hasil tersebut, pada komposisi 2:1 menghasilkan nilai kapasitansi spesifik yang besar, karena elektroda tersebut dapat diisi dengan muatan listrik yang berdifusi secara merata ke permukaan karbon hingga ke pori, sehingga mengakibatkan waktu pengosongan yang lebih panjang dan meningkatkan lebar kurva arus *charge-discharge*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Widodo Budi Kurniawan dan Bapak Herman Aldila yang telah membantu dalam penulisan jurnal. Penulis juga berterimakasih kepada pihak yang telah banyak membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. I. Pasaribu, S. A. Lubis dan S. I. Alam, "superkapasitor sebagai penyimpanan energi menggunakan bahan graphene," *Jurnal Teknik Elektro: Rekayasa Elektrikal dan Energi*, vol. 2, no. 2, pp. 66-72, 2020.
- [2] B. W. Kurniawan, A. Indriawati dan S. Oktaviani, "kajian variasi jenis aktivator terhadap nilai kapasitansi spesifik pada sintesis elektroda superkapasitor berbasis limbah kulit lada," *Jurnal Geliga Sains: Jurnal Pendidikan Fisika*, vol. 9, no. 1, pp. 19-25, 2021.
- [3] E. Mossfika, Syukri dan H. Aziz, "pembuatan karbon aktif dari ampas teh yang diaktivasi dengan NaOH sebagai material elektroda superkapasitor," *Journal of Aceh Physics Society*, vol. 9, no. 2, pp. 42-47, 2020.
- [4] D. Marina, "karakteristik karbon aktif limbah kulit lada (*piper nigrum* L.) sebagai elektroda superkapasitor," Universitas Bangka Belitung, Pangkalpinang, 2021.
- [5] Megiyo, "sintesis karbon aktif limbah pengolahan lada putih termodifikasi kitosan cangkang kepiting sawah sebagai elektroda superkapasitor," Universitas Bangka Belitung, Pangkalpinang, 2021.
- [6] O. N. Tetra, "superkapasitor berbahan dasar karbon aktif dan larutan ionik sebagai elektrolit," *Jurnal Zarah*, vol. 6, no. 1, pp. 39-46, 2018.
- [7] Megiyo, A. Noor, N. Farika dan H. Aldila, "sintesis karbon berpori limbah tangkai buah lada putih bangka (*Muntok white pepper*) sebagai elektroda superkapasitor," Pangkalpinang, 2019.
- [8] Y. Teng, E. Liu, R. Ding, K. Liu, R. Liu, L. Wang, Z. Yang dan H. Jiang, "Bean dregs-based activated carbon/copper ion supercapacitors," *Elektrochimica Acta* 194, pp. 394-404, 2016.
- [9] H. Aziz, O. N. Tetra, A. ALif dan W. Ramadhan, "electrical properties of supercapacitor electrode-based on activated carbon from waste palm kernel shells," *Der Pharma Chemica*, vol. 8, no. 15, pp. 227-232, 2016.
- [10] D. Ramayana, I. Royani dan F. Aesyad, "pembuatan carbon black berbasis nanoserbuk tempurung biji karet menggunakan high energy milling," *Jurnal MIPA*, vol. 40, no. 1, pp. 28-32, 2017.
- [11] H. Hasan, S. Gunawan, B. M. Pakpahan dan E. Eswanto, "perbandingan pemanfaatan matriks tepung tapioka dan sagu pada karbon aktif tongkol jagung untuk mengurangi emisi gas buang kendaraan," *MEKANIK: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 93-99, 2020.
- [12] P. M. Rohmah dan A. S. Redjeki, "pengaruh waktu karbonisasi pada pembuatan karbon aktif berbahan baku sekam padi dengan aktivasi KOH," *Jurnal Konversi*, vol. 3, no. 1, pp. 19-27, 2014.
- [13] D. Y. Purwaningsih, A. Budianto, A. A. Ningrum dan B. T. Kosagi, "Produksi karbon aktif dari kulit singkong dengan aktivasi kimia fisika dengan menggunakan gelombang mikro," Surabaya, 2019.

- [14] E. Taer, S. D. Hartati, Sugianto dan R. Taslim, "pengaruh variasi suhu aktivasi fisika terhadap sifat fisis dan elektrokimia elektroda karbon superkapasitor dari limbah kulit pisang," *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. 1, no. 2, pp. 53-56, 2016.
- [15] Y. Danarto dan T. Samun, "pengaruh aktivasi karbon dari sekam padi pada proses adsorpsi logam Cr (VI)," *Jurnal Ekuilibrium*, vol. 7, no. 1, pp. 13-16, 2008.
- [16] K. Udyani, D. Y. Purwaningsih, R. Setiawan dan Y. khalida, "Pembuatan karbon aktif dari arang bakau menggunakan gabungan aktivasi kimia dan fisika dengan microwave," *Jurnal IPTEK (Media Komunikasi Teknologi)*, vol. 23, no. 1, pp. 39-46, 2019.
- [17] L. E. Laos dan A. Selan, "pemanfaatan kulit singkong sebagai bahan baku karbon aktif," *Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika*, vol. 1, no. 1, pp. 32-36, 2016.
- [18] A. Husin dan A. Hasibuan, "studi pengaruh variasi konsentrasi asam fosfat (H_3PO_4) dan waktu perendaman karbon terhadap karakteristik karbon aktif dari kulit durian," *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol. 09, no. 2, pp. 80-86, 2020.
- [19] H. Avianti, "pengaruh penambahan V_2O_5 - Bi_2O_3 terhadap sintering dan karakteristik material dielektrik MgO , $8ZnO$, TiO_3 ," Departemen Fisika Fakultas Ilmu Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2018.
- [20] B. Poerwadi, F. F. Miranda, M. D. Arini, R. Oktavian dan R. Zulhijah, "sintesis adsorben zeolite alam aktif dengan bantuan microwave untuk adsorpsi CO_2 ," *Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*, vol. 1, no. 1, pp. 1-7, 2017.
- [21] L. L. Mendame, P. Silangen dan A. Rampengan, "Perbandingan Karakterisasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa dan Tempurung Kemiri Menggunakan Scanning Electron Microscopic Dan Fourier Transform Infra Red," *Jurnal FISTA: Fisika Dan Terapan*, vol. 2, no. 2, pp. 105-108, 2021.
- [22] L. Zhang, M. Mi, B. Li dan Y. Dong, "Modification of Activated Carbon by Means of Microwave Heating and its Effects on the Pore Texture and Surface Chemistry," *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Techonolgy*, vol. 5, no. 5, pp. 1836-1840, 2013.
- [23] G. Sania, "Pemanfaatan Karbon Aktif dari Ampas Biji Kopi (Robusta) yang Diaktivasi menggunakan variasi Konsentrasi Kalium Hidroksida (KOH) Sebagai Bahan Dasar Elektroda Superkapasitor," Universitas Andalas, Padang, 2021.
- [24] R. Novitra, E. Taer dan H. Aziz, "Superkapasitor Berbahan Dasar Karbon Aktif dari Ampas Biji Kopi Robusta Menggunakan Aktivator NaOH," *Journal Aceh Physics Society*, vol. 11, no. 1, pp. 33-40, 2022.
- [25] H. Nurdiansyah, "Pengaruh Temperatur Hidrotermal dan Waktu Ultrasonikasi Terhadap Nilai Kapasitansi ELEktroda Electric Double Layer Capacitor (EDLC) dari Material Grafena," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2014.
- [26] N. F. Muhiddin, "Pemanfaatan Tempurung Kemiri (Aleurites moluccana) Menjadi Karbon Aktif Sebagai Kapasitansi Elektroda Kapasitor," Universitas Islam Negeri Alauddin Makasar, Makasar, 2019.
- [27] M. Khairati, "Pengaruh Elektrolit H_3PO_4 terhadap Sift Listrik pada Elektroda Superkapasitor dari Campuran Zeolit dan Resin Damar," Universitas Andalas, Padang, 2014.
- [28] Y. Tiandho, W. Sunanda, F. Afriani, A. Indriawati dan T. Handayani, "Accurate model for temperature dependence of solar cell performance according to phonon energy," *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, vol. 55, no. 5, pp. 15-25, 2018.

- [29] H. Aldila, Megiyo, F. Afriani dan Y. Tiandho, "Analisis Pengaruh Konsentrasi Aktivator Terhadap Karakteristik Pori Karbon Aktif Tempurung Ketapang (*Terminalia Catappa*) Berdasarkan Metode Pengolahan Citra," *Jurnal Geliga Sains* , vol. 6, no. 1, pp. 1-8, 2018.
- [30] S. J. Shadday, M. R. Ayub, R. Setiyaningsih dan A. Sutresno, "Penentuan Pengaruh Jenis Insektisida pada Porositas Kertas Saring menggunakan Analisis Image," *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. 15, no. 2, pp. 40-44, 2019.