



## Karakteristik Karbon Aktif Limbah Kulit Lada (*Piper Nigrum L*) sebagai Elektroda Superkapasitor

Dewi Marina\*, Widodo Budi Kurniawan

<sup>1</sup>Jurusan Fisika Universitas Bangka Belitung

Jl. Kampus Terpadu UBB, Kel. Balunijuk, Kec. Merawang, Kabupaten Bangka, Kepulauan Bangka Belitung, Indonesia 33172

\*E-mail korespondensi: dewimarina08@gmail.com

### Info Artikel:

Dikirim:  
25 November 2021

Revisi:  
18 Desember 2021

Diterima:  
28 Desember 2021

### Kata Kunci:

Karbon Aktif,  
Konsentrasi,  
Aktivator,  
Kapasitansi Spesifik

### Abstract

Energy requires a storage device that has a high specific capacitance, namely a supercapacitor. Supercapacitor is a charge storage device that has a high specific capacitance. In this research, the preparation and characterization of activated carbon from pepper peel waste has been carried out as a supercapacitor electrode material. Carbon was activated with a variation of NaOH activator 1 M, 3 M and 5 M followed by heating at a temperature of 700° C for 3 hours under nitrogen gas (N<sub>2</sub>). The carbon was then characterized using Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS), Brunauer-Emmett-Teller (BET) and capacitance measurement using the Cyclic Voltametry (CV) method. The test results showed that the activated carbon of pepper peel waste was porous with round pores in the 3 M and 5 M samples, while at 1 M there were flat and long hollow pores. The results of the EDS for each sample contained elements of carbon (C) respectively, namely 77.57%, 75.96%, and 74.62%. BET results show a maximum surface area of 149.319 m<sup>2</sup>/g. The highest supercapacitor electrode capacitance was obtained at a concentration of 5 M with a scan rate of 1 mV/s which was 12.68 F/g.

## PENDAHULUAN

Pemenuhan kebutuhan energi menjadi salah satu tantangan seiring meningkatnya perkembangan teknologi, sehingga diperlukan adanya piranti penyimpan energi yang efektif dan efisien. Superkapasitor merupakan salah satu alat penyimpan energi yang dapat menyimpan energi dalam jumlah yang besar [1] dan memiliki beberapa keunggulan diantaranya waktu pengisian cepat dengan waktu hidup lebih lama dari baterai, mempunyai rapat daya dan kapasitas penyimpanan yang relatif besar [2]. Dari sisi keramahan terhadap penggunaannya, superkapasitor tidak bersifat korosif sehingga tidak bersifat racun [3]. Komponen penyusun superkapasitor terdiri dari elektroda, elektrolit, pengumpul arus dan separator [1]. Bahan elektroda adalah komponen utama yang berpengaruh terhadap kapasitas penyimpanan energi superkapasitor [3]. Kinerja superkapasitor tergantung bahan dasar penyusun pembuatan elektroda [4].

Dibandingkan bahan lain seperti logam oksida, polimer konduktif [4] karbon *nanotube*, karbon *aerogel*, dan *graphene* [5], karbon aktif merupakan bahan yang mudah didapatkan,

biaya murah, distribusi ukuran pori yaitu berkisar 0 nm – 50 nm [6], konduktivitas listrik yang baik, dan memiliki luas permukaan yang tinggi [7].

Pembuatan elektroda superkapasitor, konsentrasi dan jenis aktivator mempengaruhi sifat fisis, elektroda sel superkapasitor, karakterisasi sifat elektrokimia sel superkapasitor dan nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan [8] [9]. Aktivator NaOH dapat digunakan dalam pembentukan nanopori karbon karena memiliki kelebihan yaitu murah dan tidak korosif [10], luas permukaan spesifik tinggi, ramah lingkungan, serta meningkatkan jumlah pori elektroda karbon yang dapat mengakibatkan luas permukaan dan diameter pori lebih besar [4]. Salah satu bahan dalam pembuatan karbon aktif yaitu limbah biomassa.

Biomassa merupakan bahan yang berasal dari tumbuhan. Pemanfaatan biomassa dalam pembuatan karbon aktif memiliki beberapa keuntungan karena memiliki ketersediaan sumber yang banyak dengan harga yang relatif murah [5], dapat mengurangi jumlah produksi limbah, luas permukaan yang tinggi dan mudah di dapat [11]. Pemanfaatan karbon aktif dari biomassa yang telah dilakukan yaitu kulit apricot, ampas tebu, serat pisang, kanji jagung, dan lain sebagainya [12]. Salah satu bahan biomassa yang dapat dimanfaatkan dalam pembuatan karbon aktif adalah limbah lada. Limbah lada terdiri dari tangkai dan kulit lada [13]. Kurniawan *et al.* telah melakukan penelitian tentang elektroda superkapasitor sebagai media penyimpan energi listrik dengan sintesis limbah kulit lada menggunakan aktivator HCl dilanjutkan dengan dialiri gas inert nitrogen (N<sub>2</sub>) menggunakan temperatur 600° C selama 3 jam, diperoleh nilai kapasitansi spesifik sebesar 0,45 F/g dan memiliki morfologi berpori berukuran 24,5 nm. Kulit lada dapat dijadikan sebagai karbon aktif sebagaimana yang telah dilakukan [14] dimana kandungan karbonnya yang cukup tinggi yaitu 79,13%. Bahan elektroda yang dapat dijadikan sebagai elektroda superkapasitor jika nilai kapasitansi spesifik antara 5,844 x 10<sup>-9</sup> F/g – 2700 F/g [15].

Berdasarkan uraian permasalahan diatas, maka peneliti tertarik melakukan penelitian terkait karakterisasi karbon Aktif Limbah Kulit Lada (*Piper nigrum L*) sebagai Elektroda Superkapasitor. Melalui penelitian ini, diharapkan limbah kulit lada akan lebih termanfaatkan serta menambah nilai ekonomis.

## **METODE PENELITIAN**

### **Alat dan Bahan**

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah mortar, timbangan digital, ayakan 200 mesh, corong, gelas beaker, kertas pH universal, pH meter digital, *hot plate stirrer magnetic*, pipet tetes, spatula, *Scanning Electron Miscroscopy-Energy Dispersive Spektroskopy (SEM-EDS)*, *Brunauer-Emmett-Teller (BET) JWGB Meso 112*, *Cyclic Voltametry (CV)*.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah kulit lada dari Bangka Belitung, NaOH, HCl, PVA, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan *Polyvinly alcohol (PVA)*.

### **Prosedur Penelitian**

#### **Preparasi sampel dan prakarbonisasi**

Preparasi limbah kulit lada dilakukan dengan memisahkan kotoran-kotoran yang menempel pada kulit lada dengan cara dicuci dan dikeringkan dibawah sinar matahari. Sampel yang sudah dibersihkan selanjutnya dilakukan prakarbonisasi dengan dipanaskan menggunakan oven dengan suhu 130° C selama 2 jam. Hasil sampel kemudian digerus dan diayak menggunakan mortar dan ayakan 200 mesh.

#### **Aktivasi Karbon**

Karbon selanjutnya diaktivasi menggunakan aktivator NaOH 1 M, 3 M, dan 5 M selanjutnya dapat dibuat perkodean sampel seperti Tabel 1 Tiap sampel dibuat perbandingan karbon dan larutan yaitu 1: 5. Selanjutnya diaduk menggunakan *magnetic stirrer* sampai homogen dan didiamkan selama 24 jam. Hasil perendaman karbon kemudian dicuci dengan aquades hingga pH

netral dan disaring menggunakan kertas saring hingga terbentuk prekursor karbon aktif. Prekursor tersebut selanjutnya diaktivasi dalam *furnance* yang dialiri gas  $N_2$  pada suhu  $700^\circ C$  dan *holding time* selama 3 jam. Karbon aktif kemudian dikarakterisasi menggunakan SEM-EDS dan BET.

**Tabel 1 Kode Sampel**

Aktivator	Nama Sampel
NaOH 1 M	1 M
NaOH 3 M	3 M
NaOH 5 M	5 M

### Pembuatan Elektroda Superkapasitor

Pembuatan elektroda superkapasitor dilakukan dengan mencampurkan karbon aktif dengan perekat PVA 5% dari massa karbon. Karbon aktif yang telah dicampur kemudian dicetak dengan ukuran diameter 1 cm dan ditekan dengan beban sebesar 4 ton dan ditahan selama 2 menit. Hasil cetakan dilakukan perendaman dalam larutan  $H_2SO_4$  minimal selama 1 hari, kemudian elektroda di uji nilai kapasitansinya. Pengukuran nilai kapasitansi dengan menggunakan metode CV pada tegangan 0,0 s/d 1,0 volt dengan laju scan 1 mV/s, 2 mV/s, dan 5 mV/s. Pengukuran kapasitansi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan pada metode CV.

### Karakterisasi Sampel

Serbuk karbon aktif yang telah diaktivasi, selanjutnya dikarakterisasi menggunakan SEM-EDS, BET dan metode CV. Analisis SEM-EDS bertujuan untuk mengetahui unsur yang ada dalam karbon aktif, mengetahui morfologi permukaan sampel. Analisis BET bertujuan untuk mengetahui luas permukaan, volume pori, dan diameter pori. Sedangkan untuk mengetahui nilai kapasitansi spesifik dilakukan pengujian elektrokimia dengan metode *cyclic voltammetry*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Preparasi sampel dan prakarbonisasi

Preparasi limbah kulit lada dilakukan dengan membersihkan limbah kulit lada dengan air dan aquades untuk dibersihkan dari kotoran-kotoran. Gambar 1 (a) memperlihatkan limbah kulit lada sebelum dilakukan preparasi dan prakarbonisasi. Setelah dilakukan preparasi, limbah kulit lada digerus menggunakan mortar. Hasil dari penggerusan limbah kulit lada ditunjukkan oleh Gambar 1 (b), kemudian limbah kulit lada diayak dengan menggunakan ayakan 200 mesh untuk menyeragamkan ukurannya.



(a)



(b)

**Gambar 1 (a) Limbah Kulit Lada, (b) Hasil penggerusan limbah kulit lada**

### Proses Aktivasi

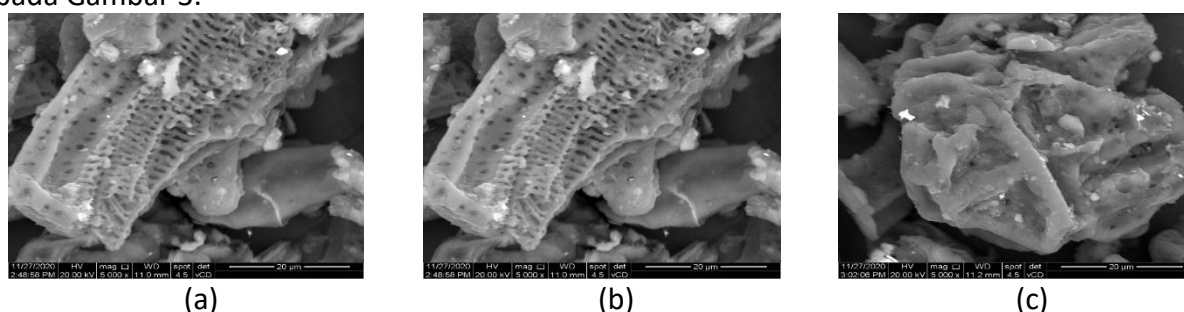
Proses ini dilakukan secara aktivasi kimia dan fisika. Hasil aktivasi dengan NaOH dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 2. Selanjutnya dilakukan aktivasi fisika dengan memanaskan karbon dalam *furnance inert* yang dialiri gas  $N_2$  pada suhu  $700^\circ C$  dan *holding time* selama 3 jam.



**Gambar 2 Hasil aktivasi karbon menggunakan NaOH**

**Karakterisasi SEM-EDS**

Pengujian SEM-EDS dilakukan untuk melihat struktur dan kandungan dari karbon. Pada Gambar 3 menunjukkan hasil karakterisasi SEM karbon yang telah dilakukan aktivasi, dengan pembesaran 5.000 kali menunjukkan bahwa sampel karbon berpori. Hasil analisis menunjukkan bahwa adanya pori terjadi karena proses karbonisasi, komponen bahan terdegradasi menjadi gas (CO, CO<sub>2</sub>, hidrogen dan metan) [16]. Selain itu, terbentuknya pori permukaan karbon aktif dipengaruhi oleh proses aktivasi kimia dan fisika [13]. Adanya pori pada sampel dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3 Hasil SEM pada sampel; (a) Sampel 1 M (b) Sampel 3 M (c) Sampel 5M**

Pada hasil pengujian SEM seluruh sampel, terdapat titik-titik putih (Gambar 3). Titik-titik putih ini diduga disebabkan oleh sisa aktivator yang terkandung dalam sampel. Oleh karena itu, perlu dilakukan peningkatan temperatur aktivasi agar energi panas yang dihasilkan semakin tinggi dan menghasilkan partikel yang berukuran lebih kecil [17]. Pada sampel 3 M dan 5 M memiliki bentuk yang serupa, sedangkan sampel 1 M memiliki pori yang berongga dan seperti lubang pipih yang memanjang. Adanya keberadaan pori menyediakan ruang transfer ion atau muatan pada elektroda karbon aktif [18].

Untuk mengetahui kandungan unsur pada karbon aktif perlu dilakukan pengujian EDS. Data uji EDS disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2 Kandungan Karbon Aktif Limbah Kulit Lada**

Unsur	Sampel 1 M	Sampel 3 M	Sampel 5M
	Persentase berat (%)	Persentase berat (%)	Persentase berat (%)
C	77,57	75,96	74,62
O	16,89	17,42	18,22
Mg	00,95	01,52	01,57
Al	01,23	01,32	01,60
Si	01,39	01,05	01,39
Ca	01,97	02,73	02,60
Total	100,00	100,00	100,00

Berdasarkan data uji EDS, karbon aktif limbah kulit lada mengandung unsur karbon (C), dan senyawa penyusun limbah kulit lada seperti O, Mg, Al, Si, dan Ca. Berdasarkan Tabel 2 sampel karbon (C) yang cukup tinggi yaitu pada sampel 1 M sebesar 77,57%. Meskipun unsur C pada sampel 1 M lebih besar, sampel 3 M dan 5 M dapat dijadikan sebagai karbon aktif karena jumlah

kandungan karbon yang dihasilkan telah memenuhi standar mutu kadar karbon yaitu minimal 65% berdasarkan SNI No. 06-3730-1995.

### Karakterisasi *Brunauer-Emmett-Teller* (BET)

Hasil luas permukaan dapat diketahui melalui pengujian BET. Adapun hasil pengujian BET dari serbuk karbon aktif limbah kulit lada ditunjukkan pada Tabel 3

**Tabel 3 Hasil BET Sampel Karbon Aktif Limbah Kulit Lada**

Kode Sampel	Luas Permukaan (m <sup>2</sup> /g)	Volume Pori (cm <sup>3</sup> /g)	Diameter Pori (nm)
1 M	3,591	0,002	2,058
3 M	5,407	0,003	2,196
5 M	149,319	0,078	2,090

Berdasarkan hasil pengukuran BET yang diperoleh, luas permukaan sampel yang besar yaitu pada sampel dengan kode 5M yaitu 149,319 m<sup>2</sup>/g. Hasil ini membuktikan bahwa semakin besar nilai konsentrasi, maka semakin besar nilai luas permukaan yang didapatkan.

### Karakterisasi *Cyclic Voltmetry* (CV)

Sampel dilakukan analisis sifat elektrokimia menggunakan CV. Pengukuran menggunakan CV menghasilkan nilai arus dan potensial, sehingga dapat menghasilkan kurva voltamogram. Penentuan nilai kapasitansi spesifik dari elektroda superkapasitor dapat ditentukan menggunakan persamaan pada metode CV

Analisis elektrokimia pada sifat karakteristik elektroda superkapasitor dilakukan menggunakan CV pada rentang potensial 0,0 - 1,0 Volt laju scan 1 mV/s, 2 mV/s dan 5 mV/s dan variasi aktivator NaOH 1 M, 3 M dan 5 M. Data di *plot* menggunakan perangkat lunak SigmaPlot untuk menampilkan kurva pada Gambar 4.

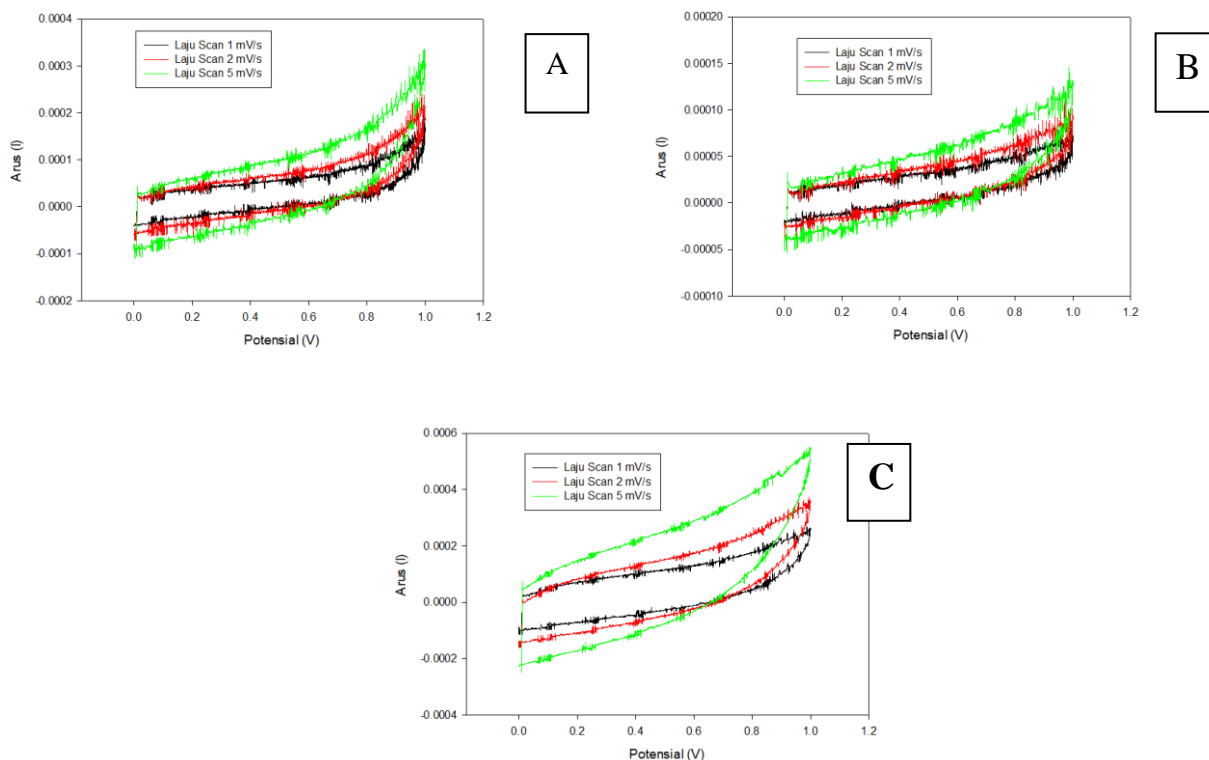
Berdasarkan kurva voltammogram pada Gambar 4, kenaikan laju scan mengakibatkan daerah potensial yang semakin lebar. Hal ini dikarenakan tingginya laju scan mengindikasikan bahwa ion-ion tidak menyebar ke pori-pori karbon yang menyebabkan difusi ion hanya terjadi di permukaan elektroda, sedangkan laju scan yang semakin rendah maka ion memiliki cukup waktu untuk terdifusi hingga pori meso dan mikro elektroda [19].

Kurva voltammogram mengindikasikan adanya arus *charge* dan *discharge*. Arus *charge* dan *discharge* akan semakin besar jika memiliki ukuran elektroda pori yang luas. Peningkatan arus *charge* ke arah positif dalam kurva voltammogram serta arus *discharge* ke arah negatif menyebabkan sifat kapasitif elektroda meningkat.

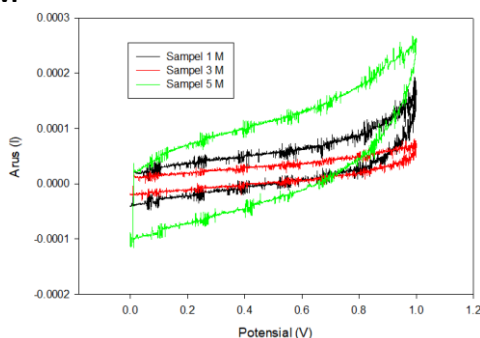
Nilai kapasitansi spesifik paling tinggi berdasarkan kurva yaitu pada laju scan 1 mV/s, dapat dilihat bahwa luas daerah laju scan 1 mV/s lebih kecil daripada laju scan 2 mV/s dan laju scan 5 mV/s (Gambar 4). Untuk mengetahui pengaruh variasi aktivator terhadap laju scan 1 mV/s dapat dilihat pada Gambar 5.

Gambar 5 menunjukkan bahwa sampel 5 M memiliki kurva yang lebih luas dan besar dibandingkan sampel 1 M dan 3 M. Variasi konsentrasi berpengaruh terhadap besarnya bentuk kurva yang dihasilkan. Semakin lebar bentuk kurva yang dihasilkan maka semakin besar nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan [20]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi aktivator yang digunakan, maka semakin meningkat nilai kapasitansi yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan semakin tinggi konsentrasi yang digunakan maka nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan semakin besar [8]. Akan tetapi pada penelitian ini, konsentrasi 3 M mengalami penurunan, hal ini dapat dikarenakan faktor massa elektroda, nilai arus *charge* dan *discharge* pada pengujian elektroda superkapasitor. Besarnya nilai kapasitansi bergantung pada nilai *Ic* dan

Id dari hasil pengukuran yang diperoleh. Untuk mengetahui nilai kapasitansi spesifik suatu elektroda dapat dihitung menggunakan persamaan pada metode CV. Nilai  $I_c$  dan  $I_d$  dapat dilihat pada Tabel 4.



**Gambar 4 Kurva Voltammogram berdasarkan variasi laju scan pada konsentrasi aktivator (A) Sampel 1 M, (B) 3 M, (C) 5 M**



**Gambar 5 Kurva Voltammogram laju scan 1 mV/s**

**Tabel 4 Hasil Uji Elektroda Superkapasitor pada Laju Scan 1 mV/s**

Sampel	Massa elektroda (g)	$I_c$ (A)	$I_d$ (A)	$C_{sp}$ (F/g)
1 M	0.0115	0.000048	0.000002	4
3 M	0.013	0.000032	0.000002	2.307692308
5 M	0.0112	0.000113	-0.000029	12.67857143

Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai kapasitansi spesifik secara berturut yaitu 4 F/g, 2,31 F/g, dan 12,68 F/g. Berdasarkan nilai kapasitansi spesifik yang didapatkan nilai kapasitansi spesifik

dengan variasi 1 M, 3 M dan 5 M dapat dijadikan sebagai elektroda superkapasitor karena besarnya nilai kapasitansi sudah termasuk dalam rentang nilai  $5,844 \times 10^{-9} \text{ F/g} - 27 \times 10^2 \text{ F/g}$  [15].

Berdasarkan hasil penelitian, luas permukaan mempengaruhi nilai kapasitansi spesifik yang didapatkan dan menjadi faktor penting dalam menentukan kapasitansi penyimpan muatan. Semakin besar luas permukaan maka semakin besar nilai kapasitansi [10]. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa besarnya nilai luas permukaan berbanding lurus dengan nilai kapasitansi spesifik yang didapatkan.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa variasi konsentrasi berpengaruh terhadap nilai kandungan unsur dan morfologi yang didapatkan. Kode sampel 1 M, 3 M dan 5 M memiliki morfologi berpori dan memiliki kandungan Karbon (C) secara berurut yaitu 77,57%, 75,96% dan 74,62%. Luas permukaan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya konsentrasi. Nilai luas permukaan tertinggi yaitu  $149,319 \text{ m}^2/\text{g}$ . Hasil pengujian CV menunjukkan nilai kapasitansi spesifik pada kode sampel 1 M, 3 M dan 5 M secara berurut yaitu  $4 \text{ F/g}$ ,  $2,31 \text{ F/g}$  dan  $12,68 \text{ F/g}$ .

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Taer, S. Hartati, Sugianto and R. Taslim, "Pengaruh Variasi Suhu Aktivasi Fisika Terhadap Sifat Fisis Dan Elektrokimia Elektroda Karbon Superkapasitor Dari Limbah Kulit Pisang," *Spektra Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. 1, 2016.
- [2] R. Kotz and M. Carlen, "Principles and Applications of Electrochemical Capacitors," *Electrochimica Acta*, vol. 15, 2000.
- [3] K. Karthikeyan, D. Kalpana and N. G. Renganathan, "Synthesis And Characterization Of ZnCo<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanomaterial For Symmetric," *Ionics*, 2009.
- [4] E. Mossfika, Syukri and H. Aziz, "Pembuatan Karbon Aktif Ampas Teh yang Diaktivasi Dengan NaOH Sebagai Material Elektroda Superkapasitor," *Journal of Aceh Physics Society*, vol. 9, no. 2, pp. 42-47, 2020.
- [5] Z. A. Rifani, E. Taer and R. Taslim, "Pengaruh Temperatur Aktivasi Fisika Terhadap Kinerja Superkapasitor Berbasis Elektroda Karbon dari Ampas Sagu," Pekanbaru, 2018.
- [6] O. N. Tetra, H. Aziz, Emriadi, S. Ibrahim and A. Alif, "Review : Superkapasitor Berbahan Dasar Karbon Aktif dan Larutan Ionik sebagai Elektrolit," *Jurnal Zarah*, vol. 6, no. 1, pp. 39-46, 2018.
- [7] A. Ramdja, M. Halim and J. Handi, "Pembuatan Karbon Aktif dari Pelpah Kelapa ( *Cocus nucifera*)," *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 15, 2008.
- [8] R. Farma, V. Melinda, S. Awitdrus, E. Taer and Y. Hamzah, "Cyclic Voltammetry Sel Superkapasitor Dengan Variasi Konsentrasi Aktivator Kalium Hidroksida," 2016.
- [9] P. Kurniawan, E. Taer, U. Malik and R. Taslim, "Pengaruh Konsentrasi KOH Terhadap Sifat Fisis Dan Elektrokimia Elektroda Karbon Dari Limbah Kulit Durian Sebagai Sel Superkapasitor," *Komunikasi Fisika Indonesia*, vol. 15, 2018.
- [10] M. Rosi, F. Iskandar, M. Abdullah and Khairurrijal, "Sintesis Nanopori Karbon dengan Variasi Jumlah NaOH dan Aplikasinya sebagai Superkapasitor," *Seminar Nasional Material*, 2013.
- [11] V. Ruiz, C. Blanco, M. Granda, R. Menendez and R. Santamaria, "Influence Of Electrode Preparation on the electrochemical behaviour of carbon-based supercapacitors," *J Appl Electrochem*, vol. 37, pp. 717-721, 2007.

- [12] E. Taer, Buku Ajar Dr. Erman Taer, M.Si, 2018.
- [13] Megiyo, A. Noor, N. Farika and H. Aldila, "SINTESIS KARBON BERPORI LIMBAH TANGKAI BUAH LADA PUTIH BANGKA (Muntok white pepper) SEBAGAI ELEKTRODA SUPERKAPASITOR," *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Pada Masyarakat*, pp. 171-194, 2019.
- [14] W. B. Kurniawan, A. Indriawati, D. Marina and E. Taer, "THE POTENTIAL OF PEPPER SHELL (Piper Nigrum) FOR SUPERCAPACITOR ELECTRODES," *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-BiRuNi*, vol. 08 (1), pp. 109-116, 2019.
- [15] M. Khairati, Pengaruh Elektrolit H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> terhadap Sifat Listrik pada Elektroda Superkapasitor dari Campuran Zeolit dan Resin Damar, Padang : Univeristas Andalas: Skripsi tidak di terbitkan, 2014.
- [16] S. Wibowo, W. Syafi and G. Pari, "Karakterisasi Permukaan Arang Aktif Tempurung Biji Nyamplung," *Makara Journal of Technology*, no. 15 (1), pp. 17-24, 2011.
- [17] Z. Efendi and Astuti, "Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Morfologi dan Jumlah Pori Karbon Aktif Tempurung Kemiri sebagai Elektroda," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 5, no. 4, pp. 297-302, 2016.
- [18] Yusriwandi, E. Taer and R. Farma, "Pembuatan dan Karakterisasi Elektroda Karbon Aktif dengan Karbonisasi dan Aktivasi Bertingkat Menggunakan Gas CO<sub>2</sub> dan Uap Air," *Jurnal Ilmiah Edu Research*, vol. 6, no. 1, pp. 21-26, 2017.
- [19] E. Taer, Zulkifli, E. Arif and R.Taslim, "Analisa Kapasitansi Spesifik Elektroda Karbon Superkapasitor dari Kayu Karet terhadap Laju Scan Berdasarkan Variasi Aktivatis HNO<sub>3</sub>," *Jurnal dan Aplikasinya*, vol. 1 (1), pp. 29-34, 2016.
- [20] J. Katesa, S. Junpirom and C. Tangsathitkulchai, "Effects of Carbonization Temperature on Porous Properties of Coconut Shell Based Activated Carbon," *TICHe International Conference*, 2011.
- [21] Y. Tiandho, W. Sunanda, F. Afriani, A. Indriawati and 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.
- [22] K. Vuorilehto and M. Nuutinen, "Supercapacitors-Basics And Applications," *Skeletontech*, p. Bautzen 23.1, 2014.
- [23] D. Syafindra, E. Budi and I. Sugihartono, "Rancang Bangun Sistem Potensiostat Menggunakan Arduino Uno," *PROSIDING SNIPS 2017*, pp. 72-81, 2017.
- [24] S. Yanti, E. Taer and Sugianto, "Efek Modifikasi Permukaan Karbon Aktif Monolit Terhadap Sifat Fisis dan Elektrokimia Sel Superkapasitor," *JOM FMIPA*, vol. 1, no. 2, 2014.