

Karakterisasi Dan Kapasitansi Elektroda Karbon Aktif Tempurung Kemiri Dengan Variasi Aktivator Asam Fosfat (H_3PO_4)

Rahmatika Fitri Cahyani^{1*}, Nazaruddin Nasution², Ridwan Yusuf Lubis³

^{1,2,3}Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Indonesia

*Email: rahmatikafitricahyani@gmail.com

ABSTRACT

This research aims to determine the quality of activated carbon used as capacitor electrodes. This research used the basic ingredients of candlenut shells taken at the petalni kemiri walrgal village of Balru Laldalng Balmbu Village. The samples were then tested to determine the effect of varying activator concentration of phosphoric acid (H_3PO_4) on the characterization and capacitance values in making activated carbon capacitor electrodes. This research was carried out in three stages, namely carbonization, activation and dehydration. The carbonization process at a temperature of 700°C, 90 minutes and chemical activation uses varying concentrations for samples A, B and C, namely 5%, 10% and 15%. The addition of the H_3PO_4 activator had an influence on the morphological structure of the activated carbon which was tested using SEM, functional groups using the FTIR test and surface area using the Methylene Blue method with UV-Vis as well as the capacitance value of the supercapacitor electrode made with activated carbon and tested with a digital multimeter. The resulting pore diameters were 3.572 μm , 3.894 μm , and 2.7549 μm respectively, with the functional groups O-H, C \equiv N, C \equiv C, and C - Br, and the pore surface area of activated carbon was 16.6018 m^2/g , 16.8808 m^2/g and 16.3050 m^2/g . The capacitance values of the candlenut shell activated carbon capacitor electrodes produced were 527.1 μF , 784.1 μF , and 497.4 μF . So the most optimal activated carbon sample is sample B with a 10% H_3PO_4 variation.

Keywords: Activated carbon, electrodes, supercapacitors, candlenut shells

PENDAHULUAN

Seiring dengan kemajuan teknologi, pemenuhan kebutuhan energi menjadi semakin sulit sehingga diperlukan adanya teknologi penyimpanan energi yang efektif dan efisien [1]. Permintaan energi Indonesia meningkat seiring dengan aktivitas perekonomian negara di sektor transportasi, komersial, industri, dan perumahan. Sumber energi terbarukan seperti matahari dan angin dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik, namun penyimpanan energi listrik yang efisien diperlukan agar pemanfaatannya berhasil [2]. Kebutuhan akan sumber energi alternatif dan terbarukan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi. Air, bahan bakar, panas bumi, sinar matahari, angin, ombak, dan pasang surut air laut merupakan contoh sumber daya energi yang masih terus dikembangkan hingga saat ini. Fakta bahwa sumber daya ini tidak selalu tersedia merupakan suatu kelemahan. Kelangkaan ini mendorong kemajuan teknologi di sektor penyimpanan energi [3].

Hampir seluruh aspek kehidupan terkena dampak signifikan dari energi listrik yang kini dianggap sebagai kebutuhan pokok peradaban global. Kebutuhan energi Indonesia yang masih mengandalkan bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam untuk pembangkit listrik berdampak pada polusi udara yang pada akhirnya berdampak pada kesehatan masyarakat dan kualitas hidup. Ketergantungan energi, khususnya energi listrik, merupakan salah satu persoalan yang sering dihadapi peradaban masa kini [4].

Karbon aktif adalah bahan kimia amorf yang terbuat dari bahan yang mengandung arang atau karbon aktif, yang terutama diperlukan untuk menyediakan kapasitas adsorpsi yang tinggi [5]. Karbon aktif merupakan salah satu bahan elektroda yang digunakan [6]. Salah satu cara untuk meningkatkan nilai kapasitansi spesifik adalah dengan menggunakan bahan berpori sebagai penyusun elektroda. Kapasitas adsorpsi elektroda akan meningkat seiring dengan luas permukaan. Menambahkan pori-pori tambahan adalah salah satu pendekatan untuk memperluas luas permukaan. Karbon aktif zat berpori adalah salah satunya. Luas permukaan spesifik karbon aktif cukup tinggi, berkisar antara 400 hingga 2200 m^2/g . Kapasitas Adsorpsi Jumlah karbon dalam

suatu zat berdampak pada karbon aktif juga. Akibatnya, berbagai bahan yang mengandung karbon, termasuk batu bara, kayu, serta tempurung kelapa dan kemiri, dapat digunakan untuk membuat karbon aktif [7].

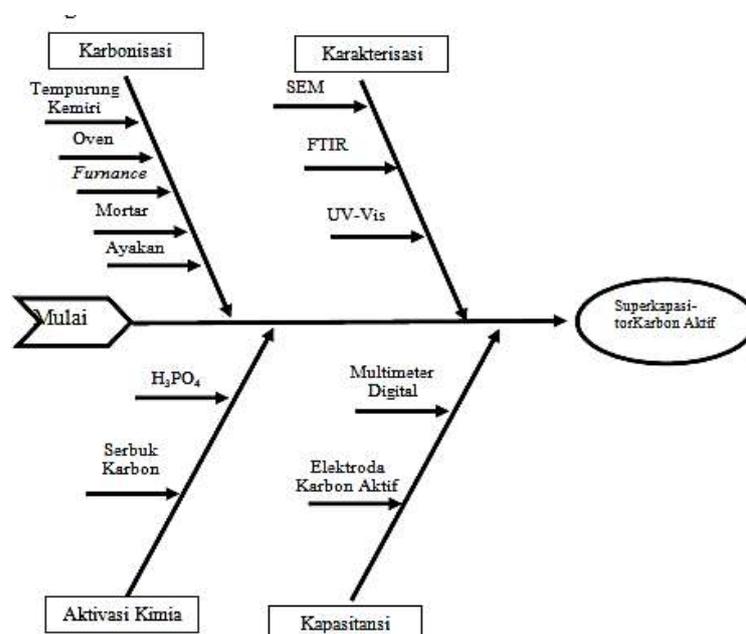
Bahan karbon memiliki luas permukaan yang besar, murah, mudah diperoleh, dan mempunyai daya hantar listrik yang baik jika dibandingkan dengan bahan elektroda lainnya [8]. Unsur karbon aktif terdiri dari 85 - 95% karbon, yang dihasilkan melalui pembakaran suhu tinggi dalam suatu proses. Hitam dan tidak berbau adalah dua ciri khas karbon aktif. Saat ini, masih banyak kegunaan lain untuk itu, seperti menyerap warna dari cairan atau membersihkan udara yang terkontaminasi. Luas permukaan karbon aktif berkisar antara 300 dan 2000 m²/gram. Karbon aktif menunjukkan kapasitas penyerapan yang besar sebagai adsorben dan juga menjanjikan sebagai kapasitor elektrokimia [9].

Berdasarkan deskripsi di atas maka dilakukan penelitian tentang pemanfaatan tempurung kemiri menjadi karbon aktif sebagai kapasitansi elektroda superkapasitor dengan memvariasikan aktivator asam fosfat (H₃PO₄) pada konsentrasi 5%, 10%, dan 15% selama 24 jam. Diaktivitasi termal menggunakan suhu 700 °C selama 90 menit.

METODE

Penelitian ini dilakukan di laboratorium CFM-RC USU (*Cellulosic and Functional Material Research Center* Universitas Sumatera Utara) Jl. Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 20222.

Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu: sikat, oven, *furnance*, desikator, mortal, ayakan 100 mesh, spatula, pH meter, kertas saring, SEM, FTIR, UV-Vis, dan multimeter digital. Sedangkan bahan yang digunakan antara lain: tempurung kelapa (*Aleurites Moluccana. L*), Aktivator asam fosfat (H₃PO₄), Aquadets (H₂O), *Methylene blue*, PVA (*polivinil Alkohol*), plat tembaga, kaca akrilik, plastik warp, dan elektrolit HCL 5 M.



Gambar 1. Diagram alir proses pembuatan karbon aktif

HASIL DAN PEMBAHASAN

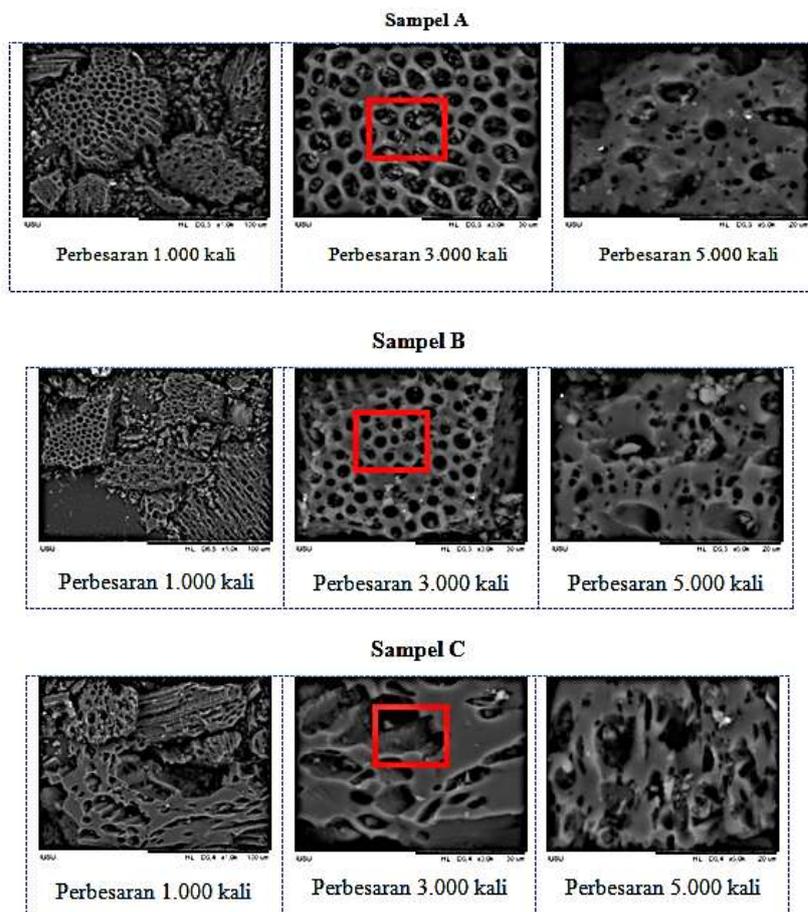
Dari riset yang telah diselesaikan, maka diperoleh hasil pengujian sebagai berikut:

Karakteristik Mikrostruktur Karbon Aktif Menggunakan SEM

Karakterisasi mikrostruktur atau struktur morfologi karbon aktif dari tempurung kemiri dapat dilakukan menggunakan *scanning elektron microscope* (SEM). Karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan karbon aktif akibat proses karbonisasi dan aktivasi.

1. Hasil Struktur Morfologi Karbon Aktif

Morfologi dari permukaan karbon aktif tempurung kemiri pada konsentrasi aktivator H_3PO_4 Sampel A 5%, sampel B 10%, sampel C 15% diidentifikasi menggunakan *scanning elektron microscope* (SEM) dengan perbesaran objek 1.000 kali, 3.000 kali dan 5.000 kali dengan hasil sebagai berikut :

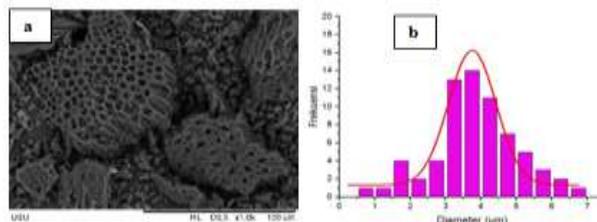


Gambar 2. Hasil SEM karbon aktif

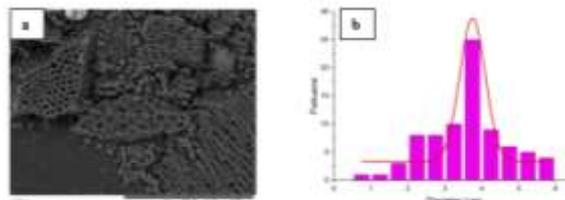
Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa morfologi permukaan karbon aktif tempurung kemiri menunjukkan ukuran pori yang berbeda, pada sampel A dengan konsentrasi H_3PO_4 5% dapat dilihat bahwa volume pori mulai terbentuk ukurannya dan terdapat pengotor yang banyak sehingga dapat mengakibatkan penyumbatan pada pori dan berpengaruh pada luas permukaan. Pada sampel B dengan konsentrasi H_3PO_4 10% dapat dilihat bahwa volume pori sudah terbentuk merata dan pori yang terbentuk banyak sehingga dapat membuka luas permukaan yang besar. Pada sampel C dengan konsentrasi H_3PO_4 15% dapat dilihat bahwa volume luas permukaan pori mengalami penurunan pada jumlah pori dan luas permukaan pori hal ini disebabkan karena banyaknya aktivator dengan menggunakan agen aktivasi yang sama dan terjebak dalam pori karbon dan mengalami kerusakan dengan adanya aktivator yang konsentrasinya lebih besar, sehingga luas permukaan karbon semakin kecil.

2. Ukuran Pori Karbon Aktif

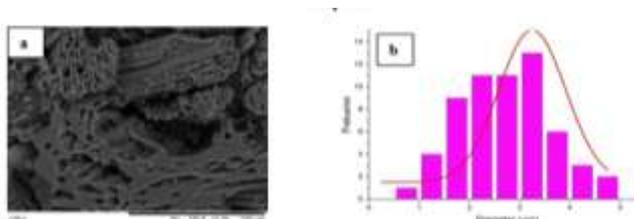
Ukuran pori pada sampel karbon aktif dapat dilihat dan diukur dengan menggunakan aplikasi *digimizer*. Pengukuran ukuran pori pada sampel A, B dan C dengan menggunakan hasil uji SEM dengan perbesaran 1.000 kali dan dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3. Pengamatan pori hasil SEM perbesaran 1000 x : (a) sampel A, (b) grafik sampel A



Gambar 4. pengamatan pori hasil SEM perbesaran 1000 x : (a) sampel B, (b) grafik sampel B



Gambar 5. Pengamatan pori hasil SEM perbesaran 1000 x : (a) sampel C, (b) grafik sampel C

Tabel 1. Data hasil pengamatan diameter pori

Sampel	Rentang Ukuran Diameter Pori (μm)	Rata-Rata Diameter pori (μm)	Standar Deviasi (μm)
A	0,709 – 3,5171	3,5723	1,0106
B	0,829 – 3,8728	3,8491	1,1906
C	0,530 – 2,7574	2,7359	0,8904

Berdasarkan tabel 1. di atas menunjukkan bahwa rentang ukuran diameter pori pada sampel A dengan konsentrasi aktivator H_3PO_4 5% memperlihatkan morfologi permukaan dengan diameter pori-pori karbon aktif terbentuk, tetapi masih terjadi penyumbatan pada pori sehingga luas permukaan pori belum terlalu besar. Pada sampel B dengan konsentrasi aktivator H_3PO_4 10% dapat dilihat morfologi permukaan pori-pori karbon aktif terbentuk melebar, banyak pori dan berkurangnya penyumbatan pada pori-pori karbon aktif sehingga luas permukaan yang dihasilkan semakin besar. Diameter permukaan pori dengan jumlah yang banyak dapat mempengaruhi luas permukaan yang besar dan dapat mengakibatkan nilai kapasitansi yang dihasilkan pada elektroda superkapasitor semakin besar. Sedangkan pada sampel C dengan konsentrasi aktivator H_3PO_4 15% mengalami penurunan pada jumlah permukaan pori hal ini disebabkan oleh banyaknya penggunaan aktivator dengan tingginya konsentrasi agen aktivasi, sehingga terjebak dalam pori karbon dan mengalami kerusakan, sehingga luas permukaan karbon semakin kecil. Semakin tinggi nilai konsentrasi pada aktivator H_3PO_4 yang digunakan dalam pembuatan karbon aktif tempurung kemiri maka akan menghasilkan diameter pori yang semakin besar dan luas permukaan yang besar, melainkan pada penggunaan aktivator H_3PO_4 dengan jumlah tinggi konsentrasi dapat mengakibatkan penurunan atau kerusakan pada morfologi permukaan diameter pori. Jika karbon aktif memiliki daya serap yang tinggi, hal ini menunjukkan bahwa luas permukaan pori-porinya sangat besar [10].

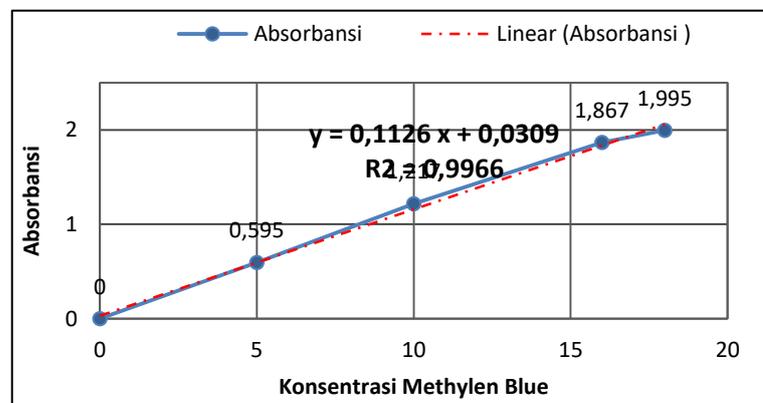
Penentuan Luas Permukaan Karbon Aktif dengan *Methylen Blue*

Luas permukaan karbon tempurung kemiri sesudah diaktivasi diukur dengan metode *methylen blue*. Prinsip metode ini berdasarkan pada daya absorpsi karbon mesopori terhadap zat warna *methylen blue*. Diantara karakterisasi suatu karbon aktif yang paling berpengaruh dalam proses absorpsi adalah luas permukaan karbon aktif. Jika suatu karbon aktif semakin besar absorpsinya maka luas permukaan yang dihasilkan semakin besar. Hal ini dipengaruhi oleh lama waktu aktivasi karena semakin lama waktu aktivasi maka makin banyak zat inert dipermukaan partikel karbon yang terlepas dari permukaan yang dapat mengakibatkan permukaan pori-pori karbon aktif makin banyak dan luas permukaan semakin besar dan dapat meningkatkan daya serap yang baik. Permukaan luas permukaan dengan *methylen blue* dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dengan rentang panjang gelombang 200 – 300 nm.

Metode metilen biru dipilih karena dapat teradsorpsi pada padatan dan terkenal digunakan dalam proses karakterisasi adsorpsi, semakin banyak arang aktif yang mampu menyerap metilen biru maka semakin besar luas permukaan arang aktif tersebut [11]. Penentuan luas permukaan dilakukan dengan metode *methylen blue* dengan membuat larutan standar dan dengan penentuan kurva baku bertujuan untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi *methylen blue* dengan nilai absorbansinya. Penentuan kurva *methylen blue* dilakukan pada konsentrasi 0, 5, 10, 16, dan 18 ppm.

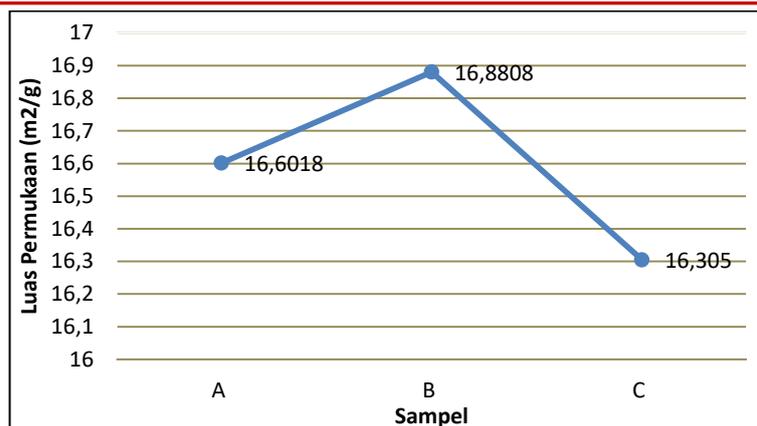
Tabel 2. Konsentrasi Methylen Blue dan Absorbansi

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi pada 295 nm
0	0
5	0,595
10	1,217
16	1,867
18	1,995



Gambar 7. Kurva Baku *Methylen Blue*

Berdasarkan Gambar 7. terlihat hubungan antara konsentrasi *methylen blue* berbanding lurus dengan absorbansinya. Kurva baku kalibrasi memperlihatkan garis lurus dengan koefisien korelasi (R) sebesar 0,9966. Nilai R yang mendekati 1 menunjukkan hubungan linier antara konsentrasi dan absorbansi (Widihati, dkk. 2011). Persamaan regresi linier yang diperoleh adalah $y = 0,1126x + 0,0309$. Berdasarkan persamaan tersebut, konsentrasi *Methylen Blue* dapat dihitung dengan memasukkan nilai absorbansinya setelah proses absorpsi pada karbon aktif untuk menentukan luas permukaan pada karbon aktif dari tempurung kemiri.

Gambar 8. Grafik Luas Permukaan Karbon Aktif Teraktivasi H₃PO₄

Hasil analisa pada Gambar 8 terlihat bahwa pada karbon aktif teraktivasi H₃PO₄ pada sampel B dengan konsentrasi 10% memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan sampel A dengan konsentrasi 5% dan sampel C dengan konsentrasi 15%. Hal ini disebabkan bahwa karbon aktif pada sampel B dengan konsentrasi H₃PO₄ dengan konsentrasi 10% memiliki lebih besar daya absorbansi pada *methylen blue* sehingga *methylen blue* bisa mengukur secara efektif permukaan karbon aktif. Kemampuan karbon aktif dalam menyerap *Methylen Blue* menjadi tolak ukur besarnya luas permukaan karbon, semakin banyak *Methylen Blue* yang diserap maka luas permukaan karbon aktif semakin besar. Sedangkan pada sampel A dengan konsentrasi 5% dan sampel C dengan konsentrasi 15% memiliki daya absorpsi lebih kecil sehingga luas permukaan yang dihasilkan kecil [4].

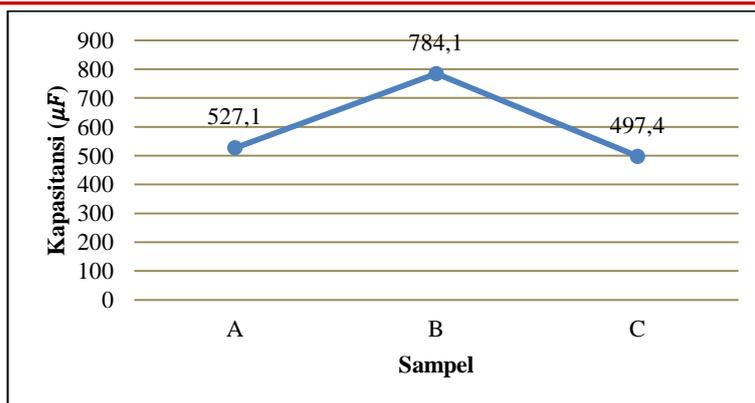
Mengukur Nilai Kapasitansi Menggunakan Multimeter Digital

Salah satu metode untuk mengetahui nilai kapasitansi maka dibuat suatu elektroda superkapasitor dan pengukuran kapasitansi spesifik karbon aktif tempurung kemiri ini dilakukan menggunakan alat multimeter digital dengan satuan μF atau setara dengan (10^{-6} F). Hasil pengukuran kapasitansi pada karbon aktif dari tempurung kemiri dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil nilai kapasitansi karbon aktif tempurung kemiri

Sampel	Kapasitansi (μF)
A	527,1
B	784,1
C	497,4

Pada tabel 3 dapat dilihat nilai kapasitansi elektroda superkapasitor karbon aktif tempurung kemiri yang telah teraktivasi menggunakan H₃PO₄. Pada sampel A menghasilkan nilai kapasitansi 527,1 μF , pada sampel B menghasilkan kapasitansi 784,1 μF , dan pada sampel C menghasilkan nilai kapasitansi 497,4 μF .



Gambar 9. Nilai kapasitansi elektoda superkapasitor karbon aktif tempurung kemiri

Pada gambar 4.8 dapat dilihat bahwa hasil analisa nilai kapasitansi yang dihasilkan pada sampel B dengan konsentrasi H_3PO_4 10% memiliki nilai kapasitansi yang lebih besar dibandingkan dengan sampel A dengan konsentrasi H_3PO_4 5% dan sampel C dengan konsentrasi H_3PO_4 15%. Hal ini disebabkan dengan penggunaan penambahan konsentrasi aktivator H_3PO_4 pada pembuatan karbon aktif dapat menyebabkan luas permukaan karbon yang semakin besar. Banyak parameter, seperti proses aktivasi, jenis aktivator, keadaan karbonisasi, dan jenis elektrolit, mempengaruhi nilai kapasitansi elektroda superkapasitor yang mengandung bahan karbon aktif. Selain itu, luas permukaan elektroda yang besar dapat mempengaruhi nilai kapasitansi spesifik superkapasitor karena kapasitansi spesifik sel superkapasitor meningkat seiring dengan luas permukaan elektroda [12].

Meningkatnya luas permukaan suatu karbon aktif dapat mempengaruhi muatan yang dapat terpolarisasi lebih banyak. Sedangkan pada sampel C nilai kapasitansi menurun diakibatkan dengan adanya penurunan luas permukaan serta volume pori – pori karbon aktif yang menurun. Penurunan ini terjadi ketika adanya penggunaan aktivator yang banyak dengan konsentrasi yang tinggi sehingga mengalami kerusakan pada struktur karbon aktif [13]. Karakteristik karbon aktif dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk jenis bahan baku, luas permukaan, serta dispersi pori. Namun proses aktivasi juga mempengaruhi karakteristik kimia permukaan arang aktif [15].

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian mengenai analisis nilai kadar air dan kadar zat menguap pada karbon aktif biji durian, dapat di tarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik karbon aktif dapat dilihat dengan struktur morfologinya, gugus fungsi, dan luas permukaan karbon aktif. Dan penambahan aktivator setiap sampel A, B, dan C dengan konsentrasi aktivator H_3PO_4 5%, 10%, dan 15% dapat membuka pori-pori karbon aktif. Analisis hasil SEM pada karbon aktif memperlihatkan berbagai bentuk ukuran pori. Rata-rata menghasilkan diameter pori 3,5723 μm , 3,8491 μm , dan 2,7459 μm . Hasil Analisa FTIR karbon aktif menghasilkan gugus fungsi O-H, $C\equiv N$, $C\equiv C$, dan C-Br. Dan dengan luas permukaan 16,6018 m^2/g , 16,8808 m^2/g , dan 16,3050 m^2/g .
2. Penambahan aktivator H_3PO_4 dalam pembuatan karbon aktif tempurung kemiri dapat berpengaruh terhadap kapasitansi karbon aktif tempurung kemiri. Nilai kapasitansi karbon aktif tempurung kemiri diukur menggunakan multimeter digital. Sampel A menghasilkan nilai kapasitansi 527,1 μF , sampel B menghasilkan 784,1 μF , dan sampel C menghasilkan 497,4 μF .
3. Dengan penambahan aktivator dapat mempengaruhi mikropori pada karbon aktif sehingga dapat menunjukkan bahwa karbon aktif tempurung kemiri yang sudah diaktivasi menggunakan H_3PO_4 layak untuk dijadikan material penyusun elektroda superkapasitor. Dari hasil analisa data variasi konsentrasi yang optimum pada karbon aktif adalah sampel B dengan konsentrasi H_3PO_4 10% menghasilkan ukuran pori yang besar dan mengakibatkan luas permukaan besar. Luas permukaan yang besar menghasilkan kapasitansi yang tinggi. Terbukti bahwa sampel B memiliki kapasitansi tertinggi dengan nilai kapasitansi [1] D. Marina and W. B. Kurniawan,

“Karakteristik Karbon Aktif Limbah Kulit Lada (*Piper Nigrum L*) sebagai Elektroda Superkapasitor,” *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, vol. 2, no. 1, pp. 7–14, Dec. 2021, doi: 10.33019/jrfi.v2i1.3171.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Marina and W. B. Kurniawan, “Karakteristik Karbon Aktif Limbah Kulit Lada (*Piper Nigrum L*) sebagai Elektroda Superkapasitor,” *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, vol. 2, no. 1, pp. 7–14, Dec. 2021, doi: 10.33019/jrfi.v2i1.3171.
- [2] S. Marito Siagian, S. Chrisna HS, F. R Tampubolon, S. Khiarani, A. Ginting, and R. Devita, “KARAKTERISTIK KAPASITAS PERBANDINGAN MASSA MATEIAL TiO₂:rGO PADA SUPERKAPASITOR,” *Jurnal Syntax Fusion*, vol. 3, no. 10, pp. 1079–1083, Oct. 2023, doi: 10.54543/fusion.v3i10.369.
- [3] V. Y. Y. Afza, M. Muldarisnur, and Y. Yetri, “Analisis Pengaruh Konsentrasi Elektrolit NaCl terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Kulit Buah Kakao,” *Jurnal Fisika Unand*, vol. 10, no. 4, pp. 486–492, Oct. 2021, doi: 10.25077/jfu.10.4.486-492.2021.
- [4] A. Prayogatama, “ELEKTRODA SUPERKAPASITOR DARI KARBON AKTIF BIOMASSA,” *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, vol. 11, no. 1, Feb. 2022, doi: 10.23887/jstundiksha.v11i1.42849.
- [5] F. P. Perdani, C. A. Riyanto, and Y. Martono, “Karakterisasi Karbon Aktif Kulit Singkong (*Manihot esculenta Crantz*) Berdasarkan Variasi Konsentrasi H₃PO₄ dan Lama Waktu Aktivasi,” *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, vol. 4, no. 2, pp. 72–81, Sep. 2021, doi: 10.20885/ijca.vol4.iss2.art4.
- [6] M. Nanang, Z. Fatmizal, M. Rosi, and A. Ismardi, “Fabrikasi Elektroda Karbon Aktif Dengan Metoda Deposisi Elektroforesis Activated Carbon Electrode Fabrication Using Electrophoretic Deposition Method.”
- [7] A. Astuti and Z. Efendi, “Perancangan Sistem Desalinasi Air Laut Menggunakan Multi Sel Elektroda Capacitive Deionization (CDI) Berbasis Karbon Aktif Tempurung Kemiri,” *POSITRON*, vol. 10, no. 1, p. 51, Sep. 2020, doi: 10.26418/positron.v10i1.37526.
- [8] A. Dwika Hardi, R. Joni, H. Aziz, L. Kimia Fisika, J. Kimia, and H. Artikel, “Pembuatan Karbon Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Elektroda Superkapasitor,” *Jurnal Fisika Unand (JFU)*, vol. 9, no. 4, pp. 479–486, 2020, doi: 10.25077/jfu.9.4.479-486-.2020.
- [9] M. Reza, L. Ernawati, M. D. Pusfitasari, N. Sylvia, A. H. Noor, and L. G. Ali, “KARAKTERISASI KARBON AKTIF DARI KULIT PISANG KEPOK SEBAGAI SUPERKAPASITOR,” *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 16, no. 2, Apr. 2022, doi: 10.33005/jurnal_tekkim.v16i2.3045.
- [10] L. Leslie Mendame, P. Silangen, and A. Rampengan, “PERBANDINGAN KARAKTERISTIK KARBON AKTIF ARANG TEMPURUNG KELAPA DAN ARANG TEMPURUNG KEMIRI MENGGUNAKAN SCANNING ELECTRON MICROSCOPIC DAN FOURIER TRANSFORM INFRA RED,” *Jurnal FisTa : Fisika dan Terapannya*, vol. 2, no. 2, pp. 105–108, Oct. 2021, doi: 10.53682/fista.v2i2.138.
- [11] W. Maylani and J. Teknik Kimia, “EFEKTIVITAS ADSORBEN ARANG AKTIF KULIT DURIAN (*Durio Zibethinus*) DAN WAKTU KONTAK TERHADAP PENURUNAN KONSENTRASI PEWARNA NAPHTOL LIMBAH CAIR BATIK,” 2023, doi: 10.24853/jurtek.15.2.247-256.
- [12] Z. Damanik *et al.*, “PENGARUH LAMA AKTIFASI DENGAN H₃PO₄ DAN UKURAN BUTIR ARANG CANGKANG KELAPA SAWIT TERHADAP UKURAN PORI DAN LUAS PERMUKAAN BUTIR ARANG AKTIF,” 2020.
- [13] R. Aderson Allagan, *AKTIVASI KIMIA MENGGUNAKAN GELOMBANG ULTRASONIK DAN VARIASI JENIS AKTIVATOR PADA PEMBUATAN ARANG AKTIF DARI TEMPURUNG KLUWAK.*