



Perangkat Penyimpanan Muatan Listrik Ramah Lingkungan Berkas Karbon Aktif Dari Limbah Hasil Pengolahan Muntok White Papper

Ipi, Aisyah Deri Ayu Tungga Safitri, Yunita Febriani, Megiyo, Widodo Budi
Kurniawan^{*)}

¹⁾Jurusan Fisika, Universitas Bangka Belitung

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

*E-mail korespondensi: widodokurniawan1@gmail.com

Info Artikel:

Dikirim:

1 November 2021

Revisi:

1 Desember 2021

Diterima:

20 Desember 2021

Kata Kunci:

Karbon Aktif, Limbah
Muntok White
Paper, Muatan
Listrik

Abstract

The national need for advanced materials is spread across several fields such as industry, transportation, information systems to defense and military systems. In the field of transportation, the government continues to innovate by shifting fuel-based vehicles (BBM) towards environmentally friendly cars in the form of electric cars. However, the main challenges in the development of electric cars are electric energy charge storage systems that are durable, have high storage capacities, and short charging times. In this study, carbon was activated stepwise using a 7% H₃PO₄ solution followed by heating at a temperature of 700 oC for 3 hours under nitrogen gas (N₂). The results of the FTIR analysis showed that the activated carbon N₂ gas had a strong and sharp C=C group along the absorption band 1500 cm⁻¹ – 1400 cm⁻¹ which indicated that the activated carbon had high quality and purity. This result was strengthened based on the EDS spectra which showed a carbon content of 90.56%. In addition, based on SEM micrographs, it can be observed that the morphology of the carbon produced has pores scattered on the surface. The presence of these pores will provide space for the transfer of charge or ions to the electrode. The best electrode was obtained on activated carbon with N₂ gas activation treatment with a conductivity of 3.92 x 10⁻² S/m and a capacitance of 1.44 x 10⁻³ F, so it was concluded that activated carbon muntok white paper could be used as an electric charge storage material.

PENDAHULUAN

Seiring perkembangan teknologi material maju yang semakin pesat, permintaan pasar baik secara nasional maupun internasional meningkat. Kebutuhan nasional akan material maju tersebar pada berbagai bidang strategis nasional seperti industri, medis, transportasi, sistem informasi hingga sistem pertahanan militer. Dalam bidang transportasi, pemerintah terus berupaya melakukan inovasi, salah satunya dengan menggeser kendaraan berbasis bahan bakar minyak (BBM) ke arah mobil listrik. Hal ini dilakukan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang ketersediaannya semakin berkurang. Selain itu, penggunaan energi listrik dipilih karena tidak menimbulkan polusi udara akibat penggunaan *fuel* dan *biofuel*. Namun

tantangan utama dalam pengembangan mobil listrik adalah diperlukan sebuah perangkat penyimpan energi listrik yang tahan lama, kapasitas simpan tinggi dan waktu pengisian yang singkat.

Energi listrik dapat disimpan oleh baterai, aki, kapasitor, dan *fuel cell*. Baterai dan *fuel cell* dapat menyimpan energi listrik yang tinggi dengan rapat daya kecil sedangkan kapasitor memiliki rapat daya yang besar namun energi yang dihasilkan kecil sehingga perangkat penyimpan energi listrik terobosan yakni superkapasitor diciptakan untuk melengkapi kekurangan tersebut. Superkapasitor memiliki kerapatan daya yang tinggi, kapasitas muatan yang sangat besar, proses pengisian cepat dan umur siklus pemakaian yang lama [1]. Salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat keefektifan superkapasitor terletak pada bahan elektroda yang digunakan. Umumnya bahan elektroda dapat menggunakan Karbon nanopori [2], Karbon nanotube [3], Rutenium oksida [4], dan polimer konduktif [5]. Di antara material tersebut, rutenium oksida mempunyai luas permukaan spesifik besar dengan nilai kapasitansi yang tinggi [4]. Namun, bahan ini memiliki ketersediaan yang terbatas dan harga yang tinggi sehingga dibutuhkan material elektroda superkasitor yang murah, mudah diperoleh, dan ramah lingkungan.

Lada Bangka atau dikenal Lada Putih (*Muntok white paper*) merupakan salah satu komoditi perkebunan yang mempunyai peranan penting sebagai sumber mata pencaharian rakyat Bangka Belitung. Lada putih muntok memiliki kontribusi ekspor yang sangat dominan bagi Indonesia yakni sebesar 80 persen [6]. Menurut masyarakat, hambatan yang sedang dihadapi petani lada putih di Bangka Belitung selain harga yang murah juga proses produksinya yang masih tergolong tradisional. Proses tersebut menghasilkan limbah berupa kulit dan tangkai atau yang sering disebut ampas lada, yang beratnya mencapai 2/3 dari berat kotor lada yang dipanen sehingga diperlukan solusi untuk mengoptimalkan limbah lada tersebut. Salah satu alternatif dalam pemanfaatan limbah tersebut adalah dikonversi menjadi karbon aktif.

Salah satu parameter proses yang penting pada proses pembuatan karbon aktif terletak pada aktivasi. Proses aktivasi akan membuka dan memperbesar pori karbon dikarenakan pecahnya ikatan hidrokarbon [7]. Proses tersebut juga akan mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga karbon mengalami perubahan sifat fisik maupun kimia [7]. Aktivasi ini terbagi menjadi dua tahapan yaitu aktivasi secara kimia dan fisika. Aktivasi kimia merupakan pengaktifan arang menggunakan bahan kimia sebagai agen pereaktif seperti NaOH, KOH, HCl, H₂SO₄, H₃PO₄ dan lain sebagainya. Agen pereaktif dapat mengikat air yang masih tertinggal pada pori karbon sehingga luas permukaannya meningkat [8]. Selain proses aktivasi, Pori dan luas permukaan arang aktif dapat ditingkatkan dengan pemanasan pada temperatur 900°C yang disebabkan penetrasi panas yang tinggi [9]. Selain peningkatan jumlah pori, proses aktivasi akan menyebabkan interaksi radikal bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom seperti oksigen dan nitrogen. Interaksi ini akan menghasilkan gugus fungsi yang mampu membuat karbon aktif menjadi reaktif secara kimiawi dan mempengaruhi adsorbsinya.

Penelitian terdahulu telah berhasil membuat perangkat penyimpan muatan listrik dalam bentuk elektroda karbon aktif yang memiliki kapasitansi 9,91 mF/g [10] dan kapasitansi 11,69 mF/g [11]. Nilai kapasitansi yang diperoleh penelitian tersebut tergolong kecil yang disebabkan luas permukaan karbon aktif yang masih rendah. Semakin besar nilai kapasitansi, jumlah muatan yang mampu disimpan elektroda semakin besar [13].

Penelitian ini akan memanfaatkan limbah pengolahan lada putih (*Muntok white paper*) sebagai karbon aktif menggunakan aktivasi bertingkat. Adapun tujuan spesifik dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh aktivasi bertingkat terhadap karakteristik gugus fungsi dan distribusi pori karbon aktif limbah hasil pengolahan *muntok white paper* serta elektroda terbaik untuk diaplikasikan pada perangkat penyimpan muatan listrik.

METODE PENELITIAN

1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah timbangan digital, kertas indikator pH, ayakan 100 mesh, oven, *hot plate stirer*, gelas laboratorium, mortar, wadah sampel, alumunium foil, cetakan arang, mesin press, dan instrumen *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) merk Shimadzu type IR-Prestige -21, *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), multimeter digital dan LCR-Meter. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah tangkai buah lada putih, membran telur, aquades, Natrium hidroksida (NaOH), dan Asam fosfat (H_3PO_4), Asam Sulfat (H_2SO_4) 1 M dan kulit telur ayam.

2. Preparasi Sampel

Preparasi limbah tangkai buah lada dengan cara memisahkan kotoran-kotaran yang menempel dengan cara dicuci lalu dikeringkan dengan cara dijemur. Sampel yang sudah dibersihkan kemudian di karbonisasi menggunakan tungku pembakaran hingga sampel menjadi arang/karbon. Arang yang berbentuk granular kemudian digerus dengan mortar dan disaring dengan ayakan 100 mesh.

- Estaksi Silika

Proses ekstraksi silika dilakukan untuk mendapatkan karbon bebas silika. Sampel karbon ditambahkan dengan NaOH 5M dan diaduk selama 30 menit disertai pemanasan pada temperatur $80^\circ C$ dan di diamkan selama 24 jam. Filtrat kemudian dibuang dan residu dicuci dengan aquades hingga pH residu sama dengan pH aquades yang digunakan, lalu dikeringkan dalam oven selama 180 menit pada temperatur $130^\circ C$.

- Aktivasi Bertingkat

Karbon bebas silika diaktivasi menggunakan larutan H_3PO_4 7% (rasio 1 gram karbon: 4 ml larutan) dan diaduk selama 15 menit hingga larutan dengan karbon homogen. Campuran kemudian didiamkan selama 24 jam dan residu di cuci hingga pH residu sama dengan pH aquades lalu dikeringkan dalam oven. Karbon kembali diaktivasi secara inert menggunakan gas Nitrogen (N_2) pada suhu $700^\circ C$ dengan *rate flow* $100^\circ C$ per jam dan di *holding time* selama 3 jam sehingga diperoleh karbon aktif.

- Karakterisasi dan Analisis Data

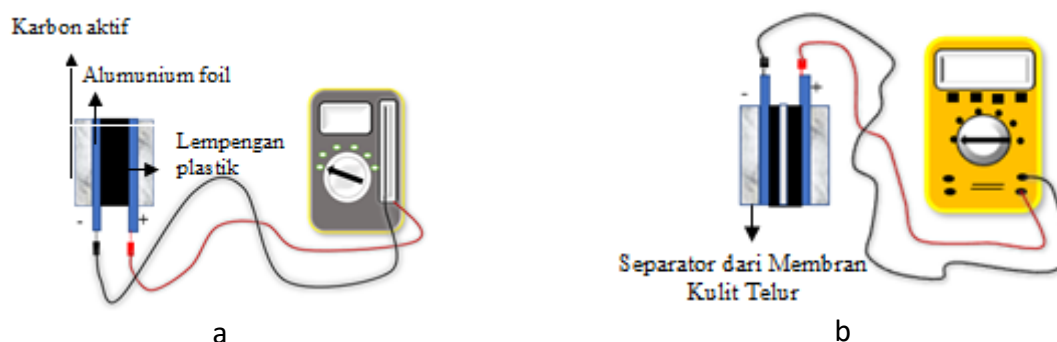
Karbon aktif hasil aktivasi bertingkat dikarakterisasi dengan instrumen *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk melihat morfologi permukaan akrbon aktif dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk melihat gugus fungsi yang terbentuk. Selanjutnya gugus fungsi dianalisis dengan membandingkan pita serapan hasil aktivasi dengan referensi yang diperkuat data *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS).

- Pengukuran Konduktivitas dan Kapasitansi

Sebanyak 0,7 gram karbon aktif di tetesi dengan larutan PVA 5% hingga homogen. Campuran dimasukan ke cetakan arang yang berbentuk silinder untuk dikompresi menggunakan mesin press dengan tekanan 150 kN/m^2 dan di tahan selama 1 menit. Campuran kemudian dipisahkan dari cetakan hingga diperoleh elektroda karbon aktif. Elektroda kemudian diukur diameter dan ketebalannya menggunakan jangka sorong lalu diukur resistansinya menggunakan multimeter digital. Pengukuran resistansi dilakukan menggunakan rangkaian yang terdapat pada Gambar 1a. Pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali setiap 15 detik lalu di rata-ratakan. Nilai konduktivitas ditentukan menggunakan Persamaan (1):

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{\frac{RA}{L}} = \frac{L}{RA} \quad (1)$$

dengan R merupakan Resistansi (Ωm), L merupakan Ketebalan (m) dan A merupakan Luas Penampang (m^2).



Gambar 1. Pengukuran : (a) Nilai Konduktivitas Listrik dan (b) Nilai Kapasitansi

Selain itu, elektroda karbon aktif diuji kapasitansi listrik dengan memanfaatkan dua buah elektroda yang dipisahkan oleh separator dari membran kulit telur kemudian diukur menggunakan LRC Meter dengan cara menghubungkan kutub negatif dan positif pada masing-masing elektroda seperti ditunjukkan pada Gambar 1b. Membran kulit telur pada penelitian diperoleh dari perendaman selama 48 jam dalam H_2SO_4 1 M. Pengukuran ini dilakukan 4 kali pengulangan lalu dirata – ratakan.

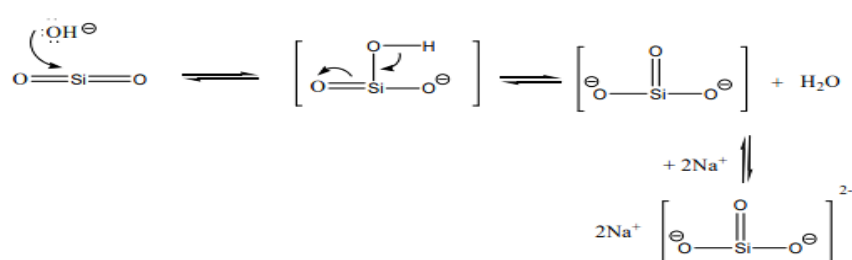
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Ekstraksi Silika Karbon

Proses ekstraksi silika menggunakan NaOH akan menurunkan kadar silika pada karbon sehingga diperoleh karbon lebih murni dan akan membentuk struktur awal berupa ruang/pori yang lebih banyak. Ekstraksi silika pada penelitian ini menggunakan NaOH 5M dengan reaksi:



Adapun mekanisme reaksi pembentukan natrium silikat disajikan pada Gambar 2. Atom O pada silika (SiO_2) bersifat elektronegativitas sedangkan Si lebih elektropositif dan membentuk *intermediet* $[SiO_2OH]^-$ akibat kehadiran NaOH yang selanjutnya proses dehidrogenasi akan terjadi. Ikatan antara ion hidroksil yang kedua dengan hidrogen membentuk molekul air. Dua ion Na^+ akan menyeimbangkan muatan negatif yang terbentuk dan berinteraksi dengan SiO_3^{2-} sehingga terbentuk natrium silikat yang terlarut.

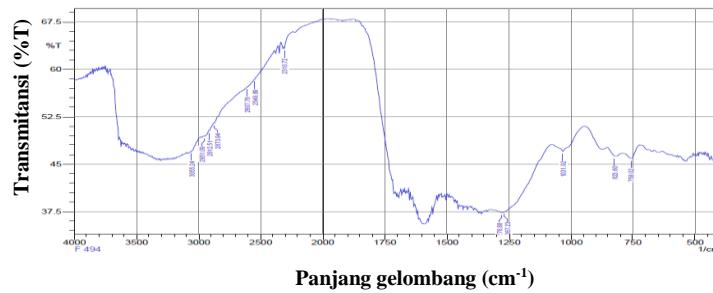


Gambar 2. Mekanisme ekstraksi dengan larutan NaOH

2. Analisis Gugus Fungsi Karbon Aktif

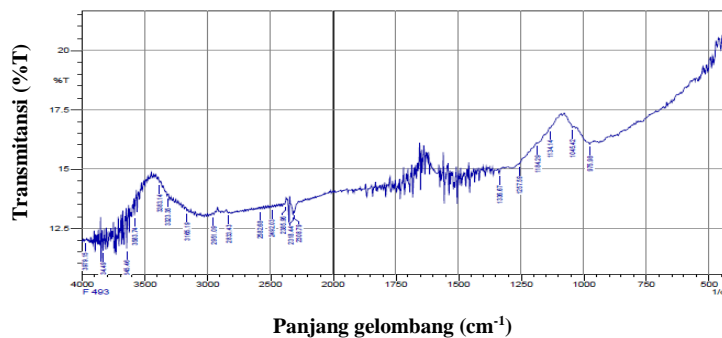
Identifikasi gugus fungsi dilakukan menggunakan instrumen Spektrofotometer FTIR terhadap karbon aktif hasil aktivasi H_3PO_4 7% dilanjutkan aktivasi dengan gas Nitrogen (N_2) pada suhu 700°C selama 3 jam. Gugus-gugus fungsi yang terdapat pada karbon aktif memberikan pengaruh terhadap struktur dan karakteristiknya. Data spektrum inframerah yang dihasilkan dari karbon aktif disajikan pada Gambar 3 dan 4. Gugus fungsi karbon aktif setelah aktivasi asam fosfat (H_3PO_4 7%) yang diperoleh dari FTIR menunjukkan pita serapan yang lebar pada daerah $3500\text{ cm}^{-1} - 3000\text{ cm}^{-1}$ yang mengindikasikan adanya gugus O-H. Keberadaan gugus O-H ini diduga akibat vibrasi gugus O-H asam. Pita serapan pada panjang gelombang $823,60\text{ cm}^{-1}$ dan

758.02 cm^{-1} mengindikasikan adanya gugus C=O. Selain itu pada daerah panjang gelombang 1600 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus C=C ulur aromatik dan gugus C-O ulur pada panjang gelombang 1267,23 cm^{-1} .



Gambar 3. Spektra FTIR karbon aktif aktivasi H_3PO_4 7%

Pita serapan pada panjang gelombang 2951,09 cm^{-1} dan 2951,12 cm^{-1} diduga disebabkan vibrasi dari C-H alifatik, yang diperkuat munculnya serapan pada panjang gelombang 1300 cm^{-1} [14]. Serapan melebar pada bilangan gelombang 2607,76 cm^{-1} dan 2549,49 cm^{-1} yang diakibatkan vibrasi dari O-H pada gugus P-OH diperkuat dengan adanya serapan pada *peak* 1031,92 cm^{-1} yang diduga merupakan vibrasi dari P-O pada gugus P-OH. Adanya gugus P-OH dan P-O diduga akibat aktivasi menggunakan asam fosfat [15].



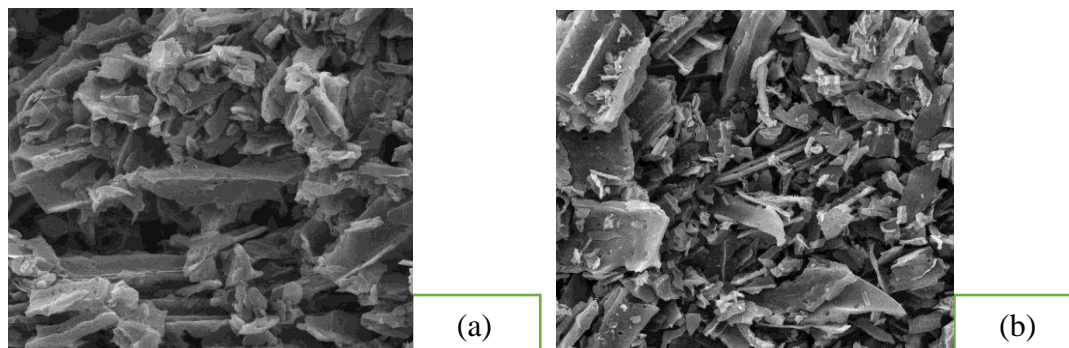
Gambar 4. Spektra FTIR karbon aktif aktivasi gas Nitrogen.

Berdasarkan spektrometer FTIR, karbon aktif teraktivasi gas Nitrogen menunjukkan terdapatnya pita serapan yang lebar pada rentang panjang gelombang 2000 cm^{-1} – 3600 cm^{-1} yang mengindikasikan keberadaan gugus O-H alkohol, fenol (ikatan H). Selain itu gugus C=C (aromatik) di temukan pada rentang panjang gelombang 1500 cm^{-1} -1400 cm^{-1} dengan terbentuknya puncak yang banyak. Hal ini mengindikasikan bahwa aktivasi menjadi karbon akan meningkatkan ikatan gugus karbon. Senyawa tersebut merupakan penyusun struktur heksagonal karbon aktif. Daerah pita serapan pada panjang gelombang 1690 cm^{-1} – 1760 cm^{-1} mengindikasikan adanya gugus C=O dengan *peak* yang tajam dan tersebar merata disekitar panjang gelombang.

Adanya ikatan O-H dan C-O menunjukkan bahwa karbon aktif yang dihasilkan cenderung lebih polar (mudah menguap). Dengan demikian karbon aktif yang dihasilkan dapat digunakan sebagai adsorben pada penjernihan air, atau penyerap emisi formaldehid. Gugus fungsi C=C adalah gugus fungsi karbon dengan jumlah kemurnian yang tinggi, dimana terjadinya pelepasan unsur O atau H yang pada awalnya menyatu dengan unsur C [16]. Ikatan rangkap karbon mengindikasikan semakin murninya unsur C yang di hasilkan. Hal ini diperkuat berdasarkan data *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) yang menunjukkan bahwa unsur utama karbon aktif limbah pengolahan *muntok white paper* adalah karbon (C) dengan persentase kandungan berat sebesar kandungan 90,56%.

3. Analisis Morfologi Karbon Aktif

Analisis morfologi karbon aktif setelah aktivasi H_3PO_4 7% dilanjutkan pengaktifan gas Nitrogen pada temperatur $700^\circ C$ selama 3 jam dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dengan perbesaran 1000 kali. Bentuk dan mikrostruktur karbon aktif selama proses aktivasi dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 5. (a). Mikrograf karbon aktif aktivasi H_3PO_4 7% (b). Mikrograf karbon aktif aktivasi gas Nitrogen pada temperatur $700^\circ C$ selama 3 jam.

Berdasarkan Gambar 5a dan 5b terlihat perbedaan bentuk dan mikrostruktur karbon aktif aktivasi H_3PO_4 7% dan gas Nitrogen yang menunjukkan bentuk partikel yang masih terikat dengan partikel didekatnya (Gambar 5a). Terikatnya partikel tersebut diakibatkan proses pencucian dan pengeringan yang belum sempurna sehingga partikel air terperangkap dan akan menutupi permukaan karbon aktif. Hal ini sesuai bahwa pori karbon aktif sebagian ditutupi oleh hidrogen, ter dan senyawa organik lain yang komponennya terdiri dari air, abu, nitrogen, dan sulfur [17]. Namun, pori dan luas permukaan karbon aktif akan meningkat pada temperatur tertentu akibat adanya penetrasi panas yang tinggi [9]. Panas yang semakin tinggi menyebabkan partikel bertumbukan lebih cepat satu sama lain, akibatnya partikel akan tepecah menjadi lebih kecil membentuk pori yang lebih kecil pada karbon aktif [18]. Struktur pori yang terbentuk berasal dari penguapan dan pelarutan senyawa non karbon yang terdapat dalam bahan baku sehingga membentuk beberapa ruang kosong untuk membentuk pori-pori [19]. Hal ini seperti di tunjukkan pada Gambar 5b yang memperlihatkan banyaknya pori yang terpecah menjadi partikel-partikel kecil dan membentuk pori baru. Pembentukan dan perbesaran pori disebabkan oleh penguapan komponen selulosa yang terdegradasi dan lepasnya zat terbang. Pengurangan senyawa hidrokarbon menghasilkan permukaan karbon aktif yang semakin jelas [20].

4. Analisis Sifat Listrik Karbon Aktif

Konduktivitas listrik merupakan kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus. Nilai konduktivitas dapat digunakan untuk menentukan suatu bahan tergolong isolator, semikonduktor dan konduktor. Tabel 1 menunjukkan karbon aktif teraktivasi H_3PO_4 memiliki konduktivitas sebesar $2,27 \times 10^{-7}$ S/m. Konduktivitas kembali meningkat pada karbon aktif teraktivasi gas N_2 sebesar $3,92 \times 10^{-2}$ S/m. Nilai konduktivitas yang dihasilkan termasuk ke dalam bahan semikonduktor. Peningkatan konduktivitas disebabkan oleh ukuran partikel yang semakin kecil akibat temperatur yang tinggi. Partikel yang semakin kecil menyebabkan mobilitas elektron semakin besar mengakibatkan kemampuan bahan dalam menghantarkan arus listrik semakin besar.

Nilai kapasitansi merupakan faktor yang paling penting dalam menentukan efektifitas bahan sebagai perangkat penyimpan muatan listrik. Hasil yang terdapat pada Tabel 2 menunjukkan proses aktivasi bertingkat dapat meningkatkan kapasitansi karbon aktif. Kapasitansi tertinggi diperoleh sebesar $1,44 \times 10^{-3}$ F untuk karbon aktif yang diaktivasi dengan gas Nitrogen

pada temperatur 700°C. Hal ini disebabkan temperatur tinggi menyebabkan partikel bergerak lebih cepat sehingga bertumbukan satu sama lain. Akibatnya partikel terpecah menjadi lebih kecil sehingga luas permukaan akan bertambah besar [21]. Semakin besar luas permukaan maka semakin banyak ion yang terserap ke permukaan elektoda sehingga kapasitansi semakin besar. Selain itu, rendahnya kapasitansi disebabkan konsentrasi PVA yang terlalu tinggi dan banyaknya PVA yang digunakan. Hal ini dikarenakan semakin tinggi konsentrasi dan PVA yang digunakan maka pori-pori akan tersumbat sehingga kemampuan penyerapan ion semakin rendah.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Konduktivitas Listrik

No	Waktu (s)	Karbon Aktivasi H ₃ PO ₄		Karbon Aktivasi Gas N ₂	
		Resistansi (Ωm)	Konduktivitas (S/m)	Resistansi (Ωm)	Konduktivitas (S/m)
1	15	32.74 x 10 ⁶		26.3	
2	30	32.17 x 10 ⁶		26.2	
3	45	31.71 x 10 ⁶	2.27 x 10 ⁻⁷	26.0	3.92 x 10 ⁻²
4	60	31.86 x 10 ⁶		25.9	
5	75	31.84 x 10 ⁶		25.5	
Rata –Rata		32.064 x 10⁶		25,98	

Tabel 2. Hasil Pengukuran Kapasitansi

No	Pengulangan	Karbon Aktivasi H ₃ PO ₄		Karbon Aktivasi Gas N ₂	
		Kapasitansi (F)		Kapasitansi (F)	
1	Pertama	1.36 x 10 ⁻⁹		1.094 x 10 ⁻³	
2	Kedua	1.42 x 10 ⁻⁹	1.43 x 10 ⁻⁹	1.328 x 10 ⁻³	1.44 x 10 ⁻³
3	Ketiga	1.43 x 10 ⁻⁹		1.510 x 10 ⁻³	
4	Keempat	1.54 x 10 ⁻⁹		1.838 x 10 ⁻³	

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa aktivasi bertingkat mempengaruhi karakteristik karbon aktif. Karbon aktif teraktivasi H₃PO₄ 7% mengandung gugus O-H, C=O, C-O, C=C, dan P-O. Munculnya gugus P-O diduga akibat penggunaan H₃PO₄ sebagai agen pengaktifan. Sementara, karbon aktif teraktivasi gas N₂ mengandung gugus C=O dengan *peak* yang tajam disepanjang pita serapan 1500 cm⁻¹ -1400 cm⁻¹ yang mengindikasikan gugus fungsi karbon dengan tingkat kemurnian yang tinggi yakni sebesar 90,56% serta distribusi pori meningkat seiring perlakuan aktivasi. Karakteristik karbon aktif juga mempengaruhi sifat listrik elektoda. Elektroda karbon teraktivasi H₃PO₄ memiliki konduktivitas 2,27 x 10⁻⁷ S/m dan kapasitansi 1,43 x 10⁻⁹ F sedangkan elektroda karbon aktif teraktivasi gas N₂ memiliki konduktivitas 3,92 x 10⁻² S/m dan kapasitansi 1,44 x 10⁻³ F. Semakin besar nilai konduktivitas dan kapasitansi maka semakin baik elektoda karbon aktif diaplikasi pada perangkat penyimpan muatan listrik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Widodo Budi Kurniawan S.Pd., M.Sc selaku Pembimbing dalam penulisan dan pelaksanaan penelitian ini, dan Bapak Herman Aldila S.Pd., M.Si yang telah berkontribusi memberikan saran dan masukan selama penelitian, serta semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Rosi, M. Ekaputra, F. Iskandar, M. Abdullah and Khairurrujah, "Superkapasitor menggunakan Polimer Hidrogel Elektrolit dan Elektroda Nanopori Karbon," *Seminar Nasional Material*, 2012.
- [2] G. Wati, "Kapasitansi Elektroda Superkapasitor Dari Tempurung Kelapa," *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, vol. 4, no. 1, 2015.
- [3] T. Ariyanto, I. Prasetyo and Rochmadi, "Pengaruh Struktur Pori terhadap Kapasitansi Elektroda Superkapasitor yang Dibuat dari Karbon Nanopori," *Journal Reaktor*, vol. 14, no. 1, pp. 25-32, 2012.
- [4] D. Batara, G. Wiranto and Y. Tayubi, "Fabrikasi Dan Karakterisasi Elektoda pH Dan Temperatur Terintegrasi Dalam Satu Lapisan Substrat," *Fibusi (JoF)*, vol. 3, no. 3, pp. 1-8, 2015.
- [5] F. Safitri and I. Supu, "Uji Konduktivitas Film Elektrolit Polimer Kitosan Cangkang Kepiting Dengan Penambahan KCL," *Jambura Physics Journal*, vol. 1, no. 2, pp. 99-109, 2019.
- [6] Sudarlin, Analisis Daya Saing Pengusahaan Komoditi Lada Putih (Muntok White Pepper), Bogor : Insitut Pertanian Bogor, 2008.
- [7] S. Jamilatun and M. Setyawan, "Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dan Aplikasinya Untuk Penjernihan Asap Cair," *Jurnal Spektrum Industri*, vol. 12, no. 1, pp. 1-11, 2014.
- [8] N. Fanani and I. F. Ulfindrayani, "SINTESIS DAN KARAKTERISASI KARBON AKTIF DARILIMBAH BAMBU MENGGUNAKAN AKTIVATOR ASAM POSPAT (H₃PO₄)," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VII*, Surabaya, 2019.
- [9] F. F. Polii, "Pengaruh Suhu dan Lama Aktivasi Terhadap Mutu Arang dari Kayu Kelapa," *Jurnal Industri Hasil Perkeebunan*, vol. 12, no. 2, pp. 21-28, 2017.
- [10] R. Latifan and D. Susanti, "Aplikasi Karbon Aktif dari Tempurung Kluwak (Pangium edule) dengan Variasi Temperatur Karbonisasi dan Aktivasi Fisika sebagai Electric Double Layer Capacitor (EDLC)," *Jurnal Teknik POMITS*, vol. 1, no. 1, pp. 1-6, 2012.
- [11] M. Habibah, H. Nurdiana, L. Rohmawati and W. Setyarsih, "Sintesis Nanopori Karbon Aktif dari Tempurung Kluwak (Pangium edule)," in *Prosiding Seminar Nasional Fisika Pendidikan Fisika (SNFPF)*, 2014.
- [12] H. Nurdiana, L. Rohmawati and W. Setyarsih, "Pengaruh Penambahan Massa Aktivator PEG Terhadap Nilai Kapasitansi Elektroda Pada Superkapasitor dari Tempurung Kluwak (Pangium edule)," *Jurnal Inovasi Fisika (IFI)*, vol. 05, no. 01, pp. 15-18, 2016.
- [13] R. M. Silverstein and G. G. M. T. C. Bassler, *Spectrometric Identification of Organic Compound*, 5 ed., Singapore: John Wiley and Sons, 1991.
- [14] E. Sahara, W. D. Sulihingtyas and I. P. A. S. Mahardika, "Pembuatan dan Karakterisasi Arang Aktif dari Batang Tanaman Gunitir (Tagetes erecta) yang Diaktivasi dengan H₃PO₄," *Jurnal Kimia*, vol. 11, no. 1, pp. 1-9, 2017.
- [15] Z. A. Nasution and S. M. Rambe, "Karakterisasi dan Identifikasi Gugus Fungsi dari Karbon Cangkang Kelapa Sawit dengan Metode Methano-Pyrolysis," *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, vol. 24, no. 2, pp. 108-113, 2013.
- [16] G. Radjak, "Pengaruh Aktivator Asam Klorida (HCl) dan Asam Fosfat (H₃PO₄) terhadap Karakteristik (Luas Permukaan Pori) Meranti Merah (Shorea sp.)," Program Pasca Sarjana Insitut Pertanian Bogor, Bogor, 2016.

- [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] S. Yakaout and G. S. El-Deen, "Characteriation of Activated Carbon Preparad by Phosphoric Acid Activation of Olive Stones," *Arabian Journal of Chemistry*, 2016.
- [19] V. A. Mentari and S. Maulina, "Perbandingan Gugus Fungsi dan Morfologi Permukaan Karbon Aktif dari Pelepah Kelapa Sawit Menggunakan Aktivator Asam Fosfat (H_3PO_4) dan Asam Nitrat (HNO_3)," *ST Conference Series*, vol. 01, pp. 204-208, 2018.
- [20] 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.
- [21] Yusriwandi, E. Taer and R. Farma, "Pembuatan dan Karakterisasi Elektroda Karbon Aktif Dengan Karbonisasi dan Aktivasi Bertingkat Menggunakan Gas CO_2 dan Uap Air," *Jurnal Ilmiah Edu Research*, vol. 6, no. 1, pp. 21-26, 2017.