

SINTESIS KARBON BERPORI LIMBAH TANGKAI BUAH LADA PUTIH BANGKA (*Muntok white pepper*) SEBAGAI ELEKTRODA SUPERKAPASITOR

Megiyo*, Aliefia Noor, Nurahmi Farika dan Herman Aldila

Jurusan Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung
Jl. Kampus Peradaban, Merawang, Bangka, 33172

^{*)} email korespondensi: megio@uniba.ac.id

ABSTRAK

Karbon aktif merupakan material karbon berpori yang memiliki porositas dan luas ares sehingga dapat diaplikasikan sebagai material elektroda superkapasitor. Karbon aktif limbah tangkai buah lada putih Bangka (*Muntok white paper*) dimanfaatkan untuk mengoptimalkan pencemaran lingkungan hasil produksi biji lada putih di Kepulauan Bangka Belitung sebagai bahan material elektroda superkapasitor. Karbon berpori dibuat melalui beberapa tahapan dimulai dari preparasi sampel, ekstraksi silika, aktivasi dengan H_3PO_4 7% dan aktivasi gas H_2 . Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstraksi silika mampu menghilangkan kadar silika pada sampel. Hal ini terlihat bahwa pada panjang gelombang 1600 cm^{-1} terbentuk gugus fungsi karbon aromatik yang mengidentifikasi peningkatan kadar karbon pada sampel. Hasil analisa SEM dan EDS menunjukkan aktivasi gas H_2 menghadirkann pori pipih memanjang dengan kadar karbon 90,56%. Kehadiran pori ini akan menyediakan ruang untuk transfer muatan atau ion pada elektroda. Elektroda yang berhasil disintesis memiliki kapasitansi spesfik tertinggi sebesar 74,85 F/g dan layak digunakan sebagai material elektroda superkapasitor.

Kata kunci: Karbon aktif, Elektroda superkapasitor, Kapasitansi spesifik

PENDAHULUAN

Lada Putih (*Muntok white piper*) merupakan salah satu komoditi perkebunan yang mempunyai peranan penting sebagai sumber mata pencaharian rakyat Bangka Belitung. Lada putih memiliki kontribusi ekspor yang sangat dominan bagi Indonesia yakni sebesar 80 persen (Sudarlin, 2008). Pengolahan lada putih yang tergolong tradisional menghasilkan limbah berupa kulit dan tangkai lada yang belum termanfaatkan sehingga diperlukan solusi untuk mengoptimalkan limbah dari lada.

Karbon aktif merupakan material karbon berpori yang memiliki porositas (*porosity*) dan luas area sekitar $500 - 2000\text{ m}^2/\text{g}$ (Bansal & Goyal, 2005). Struktur berpori ini dapat diaplikasikan sebagai adsorben, *support* katalis dan elektroda superkapasitor (Kristianto, 2017). Karbon aktif dihasilkan dari proses modifikasi arang berbentuk padatan porus yang mengandung 85-95% arang hasil karbonisasi disertai hilangnya kadar air dan komponen volatil dari material yang mengandung unsur karbon (Sembiring & Sinaga, 2003).

Beberapa tahun terakhir, superkapasitor menjadi *tranding topic* dalam teknologi penyimpanan energi listrik dengan rapat daya tinggi (Yueming, *et al.*, 2011) serta waktu pengisian cepat dan umur siklus pemakaian yang panjang (Zuleta, *et al.*, 2005). Namun, faktor material elektroda penyusun superkapasitor sangat mempengaruhi kapasitansi spesifik elektroda. Material elektroda yang dapat digunakan berupa karbon berpori dengan konduktivitas listrik dan ketahanan kimia yang baik serta harganya terjangkau (Aripin, *et al.*, 2010). Karbon berpori dengan fraksi mesopori dan luas

permukaan tinggi akan menyediakan ruang untuk transfer muatan atau ion sehingga kapasitansi elektroda meningkat (Yusriwandi, *et al.*, 2017).

Pada penelitian ini dilakukan sintesis karbon berpori dari limbah tangkai buah lada Bangka (*Muntok white piper*) melalui aktivasi bertingkat sebagai material elektroda superkapasitor ditinjau dari besarnya kapasitansi spesifik yang dihasilkan. Variasi penggunaan *polyvinly alcohol* (PVA) dalam pembuatan elektroda superkapasitor akan mempengaruhi besarnya kapasitansi spesifik dari elektroda.

METODOLOGI PENELITIAN

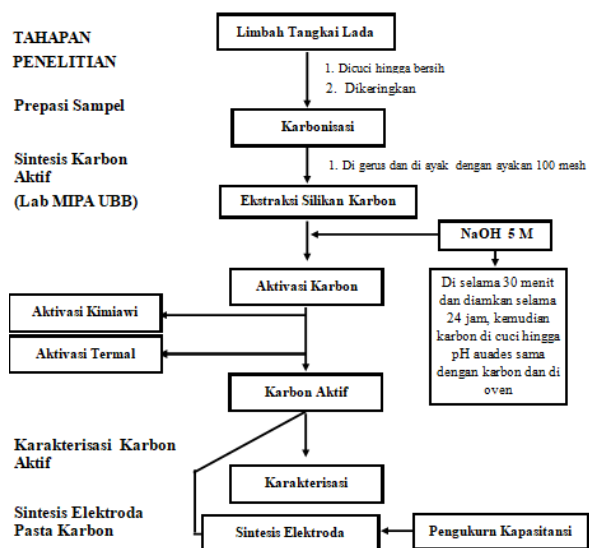
Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah timbangan analitik, kertas indikator pH, kertas saring whatman 1, ayakan 100 mesh, oven, buhner, *hot plate stirrer*, spatula, mortar, gelas ukur, corong gelas, pipet ukur, wadah sampel, kertas label, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) merk Shimadzu type IR-Prestige -21, *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS), *Cyclic Voltametry* (CV).

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah ampas tangkai buah lada putih yang diperoleh dari Desa Nangka, Bangka selatan, aquades, Natrium hidroksida (NaOH), Asam fosfat (H_3PO_4), *Polyvinly alcohol* (PVA).

Tahapan Penelitian

Penelitian ini melalui beberapa tahapan. Berikut ini diagram alir tahapan penelitian yang di tunjukan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir tahapan penelitian

Prosedur

Preparasi Sampel

Preparasi limbah tangkai buah lada dengan cara memisahkan kotoran-kotoran 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.

Ekstraksi Silika

Karbon yang telah diperoleh diekstraksi silikanya untuk mendapatkan karbon bebas silika. Sampel karbon ditambahkan dengan NaOH 5M dan diaduk selama 30 menit disertai pemanasan pada temperatur 80°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°C.

Aktivasi

Karbon bebas silika diaktivasi menggunakan larutan H₃PO₄ 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 didalam oven. Karbon kembali diaktivasi secara inert menggunakan gas Hidrogen (H₂) pada suhu 700°C dengan *rate flow* 100°C perjam dan *holding time* selama 3 jam sehingga diperoleh karbon aktif.

Pengukuran Kapasitansi dengan Cyclic Voltametry

Studi sifat elektrokimia karbon aktif dilakukan dengan teknik *cyclic voltametry* (CV). Elektroda karbon nanopori di buat dalam bentuk *sandwich* dengan variasi *polyvinly alcohol* (PVA) 5%, 7% dan 10%. Pengujian kapasitansi elektroda dilakukan pada tegangan 0 Volt s/d 0,5 V dengan *scanrate* 1 mV/s menggunakan larutan elektrolit H₂SO₄ 1 M sehingga diperoleh voltammogram tegangan dan arus, kemudian

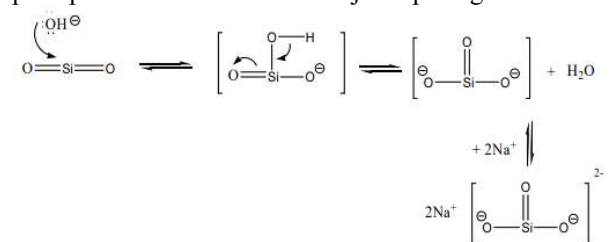
dihitung nilai kapasitansi spesifik menggunakan persamaan berikut.

$$C_x = \frac{I_a - I_o}{v \cdot m}$$

dimana C_x : kapasitansi spesifik (F/g), v : laju scan (V/s), I_a-I_o : arus *charge* dan *discharge* (A) dan m : massa karbon pada elektroda.

HASIL DAN PEMBAHASAN

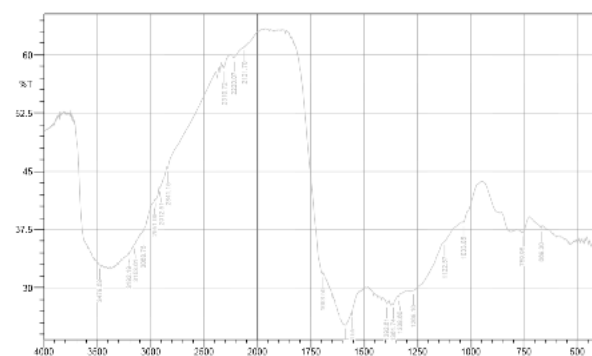
Proses ekstraksi silika menggunakan NaOH akan menurunkan kadar silika pada karbon sehingga diperoleh karbon lebih murni dan akan membentuk struktur awal berupa ruang/pori yang lebih banyak (Wibowo, *et al.*, 2004). Mekanisme reaksi yang terjadi pada proses ekstraksi silika disajikan pada gambar 2.



Gambar 2. Mekanisme ekstraksi

Atom O pada silika (SiO₂) bersifat elektronegativitas sedangkan Si lebih elektropositif dan membentuk *intermediet* [SiO₂OH] akibat kehadiran NaOH (Mujiyanti, *et al.*, 2010). Dehidrogenasi dan ion hidroksil akan berikatan dengan hidrogel membentuk molekul air. Dua ion Na⁺ akan menyeimbangkan muatan negatif dan berinteraksi dengan ion SiO₃²⁻ membentuk natrium silikat yang larut.

Bukti tambahan yang menunjukkan bahwa proses ekstraksi silika menghasilkan karbon berkualitas murni dibuktikan dengan hasil FTIR.

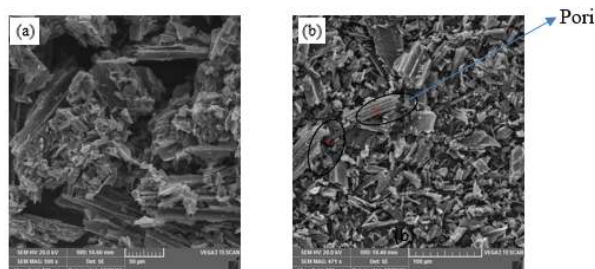


Gambar 3. Spektrum Fourier Transform Infra Red (FTIR) Hasil Ekstraksi Silika Karbon

Spektra FTIR dari karbon nanopori hasil proses reduksi silika pada perendaman alkali (NaOH) menunjukkan bahwa pada daerah serapan panjang gelombang 1099,32 cm⁻¹ tidak terbentuk puncak gugus silikat (Si-O-Si). Hal ini mengindikasikan bahwa pada proses perendaman alkali kadar silikat dapat diminimalisir dengan adanya reaksi antara basa alkali dengan unsur silikat pada arang limbah lada membentuk turunan senyawa alkali silikat yang dapat larut dalam air (Ramalla, *et al.*, 2015). Namun disisi lain kadar hidroksil pada sampel meningkat hal ini ditunjukkan dengan terbentuknya puncak pada daerah

sekitar $3454,31 \text{ cm}^{-1}$. Gugus hidroksil ini nantinya diperkirakan akan menurun pada tahap aktivasi termal karbon aktif. Puncak lain yang terdeteksi pada 1600 cm^{-1} merupakan puncak dari gugus fungsi karbon aromatik ($C = C$) yang mengindikasikan adanya peningkatan kadar karbon pada sampel.

Selain itu, proses aktivasi akan mempengaruhi proses pembentukan pori pada permukaan karbon aktif seperti disajikan pada gambar 4.



Gambar 4. Hasil Analisis SEM (a) Karbon Aktif Teraktivasi H_3PO_4 7% (b) Karbon Aktif Teraktivasi Gas H_2

Gambar 4 menampilkan hasil karakterisasi SEM pada perbesaran berbeda-beda. Gambar 1(a) menunjukkan mikrograf SEM pada skala $50 \mu\text{m}$, permukaan dominan berwarna hitam dengan bentuk partikel memanjang acak. Gambar 1(b) menunjukkan kehadiran pori berbentuk lubang pipih memanjang dengan partikel lebih kecil. Terbentuknya pori selama proses aktivasi gas hidrogen (H_2) pada temperatur 700°C selama 3 jam disebabkan oleh energi panas. Energi panas yang semakin besar mengakibatkan partikel bertumbukan lebih cepat satu sama lain. Akibatnya partikel akan tepecah menjadi lebih kecil membentuk pori yang lebih kecil pada karbon aktif (Efendi & Astuti, 2016). Keberadaan pori ini akan menyediakan ruang untuk transfer muatan atau ion pada elektroda karbon aktif (Yusriwandi, *et al.*, 2017).

Bukti tambahan menunjukkan bahwa proses aktivasi H_2 pada karbon aktif mampu mengubah bahan biomassa menjadi bahan dasar pembuatan karbon aktif berkualitas baik dapat dianalisa secara EDX. Spektrum uji EDX disajikan pada gambar 5.

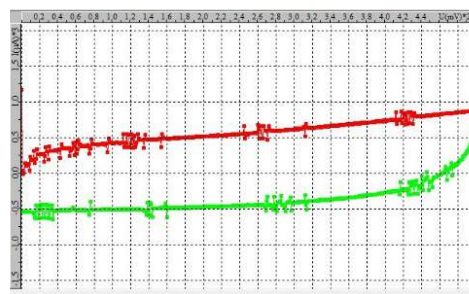


Gambar 5. Spektrum uji EDX

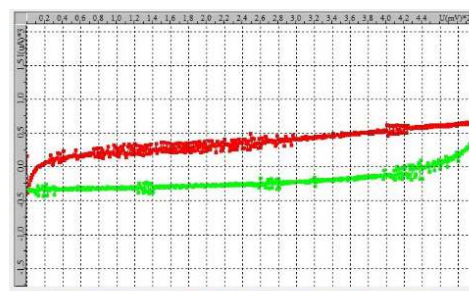
Gambar 5 menunjukkan bahwa spektrum uji EDX dideteksi potensial karakteristik material karbon aktif limbah tangkai lada membuktikan kandungan unsur karbon sebesar 90,56%. Karbon aktif mengandung unsur selain karbon yang terikat secara kimia yaitu O_2 disebabkan dari bahan baku yang tertinggal akibat tidak sempurnanya proses aktivasi dengan gas Hidrogen.

Karakterisasi pengukuran kapasitansi spesifik elektroda karbon dilakukan menggunakan teknik *Cyclic Voltametry* (CV) pada laju scan 1 mV/s

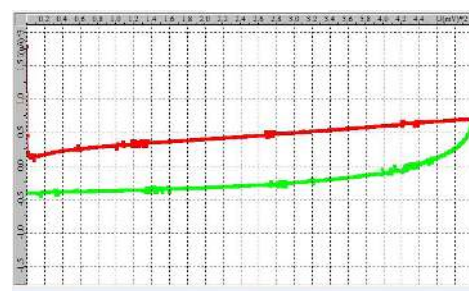
menggunakan larutan elektrolit H_2SO_4 1 M. Data pengukuran CV dinyatakan dalam kurva kapasitansi spesifik (C_x) terhadap tegangan dalam variasi konsentrasi aktivar *polyvinly alcohol* (PVA) sebanyak 5%, 7% dan 10%, seperti pada gambar 6.



(a)



(b)



(c)

Gambar 6. Kurva Elektroda Karbon variasi Konsentrasi Aktivar (a) PVA 5%, (b) PVA 7% dan (c) PVA 10%

Gambar 6 menunjukkan konsentrasi PVA yang semakin tinggi menghadirkan daerah potensial tengah yang sempit. Daerah potensial tengah terluas tercapai pada konsentrasi PVA 5%. Bentuk kurva yang diperoleh memberikan gambaran besarnya nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan. Nilai kapasitansi spesifik dipengaruhi oleh arus *charge* (garis yang berada diatas kurva) dan arus *discharge* (garis yang berada dibawah kurva) seperti yang ditunjukkan pada gambar 6. Nilai arus *charge* dan *discharge* dari elektroda digunakan untuk menghitung nilai kapasitansi spesifik yang disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai kapasitansi spesifik elektroda variasi konsentrasi *polyvinly alcohol* (PVA).

Konsentrasi PVA	Laju Scan (mV/s)	C_x (F/g)
5 %	1	74,85
7 %	1	44,25
10 %	1	45,69

Berdasarkan gambar 6 dan tabel 1, penambahan jumlah konsentrasi PVA yang semakin tinggi akan mempengaruhi besarnya nilai kapasitansi spesifik dari elektroda. Kapasitansi terbesar diperoleh pada konsentrasi PVA 5% sebesar 74,85 F/g. Namun, pada konsentrasi 7% dan 10% terjadi penurunan nilai kapasitansi akibat pengotor menyebabkan pori-pori menjadi tersumbat sehingga kemampuan penyerapan ion semakin rendah walaupun ukuran pori relatif kecil (Nurdiana, *et al.*, 2016).

Untuk dijadikan sebagai elektroda superkapitor maka suatu bahan harus memiliki nilai kapasitansi antara 5,8440-10-9 F/g – 2700 F/g (Khairati, 2014). Nilai kapasitansi terbesar dalam penelitian ini yaitu 74,85 F/g dimana nilai ini sudah memenuhi syarat untuk dijadikan sebagai material elektroda superkapasitor.

KESIMPULAN

Limbah tangkai buah lada bangka (Muntok *white paper*) dapat dikonversikan menjadi karbon aktif sebagai material elektroda superkapasitor. Morfologi karbon aktif yang diperoleh memiliki pori terbentuk memanjang pipih dengan kadar karbon 90,56%. Selain itu elektroda hasil sintesis memiliki kapasitansi terbesar 74,85 F/g pada konsentrasi PVA 5% yang menindikasikan bahwa karbon aktif limbah tangkai lada layak digunakan sebagai material elektroda superkapasitor.

DAFTAR PUSTAKA

- Aripin, H., Lestari, L., Ismail, D. & Sabchevski, S., 2010. Sago waste based activated carbon film as an electrode material for electric double layer capacitor. *Open Materials Science Journal* , Volume 4, pp. 117-124.
- Bansal, R. C. & Goyal, M., 2005. Activated Carbon Adsorption. *CRC Press Boca Raton*.
- Efendi, Z. & Astuti, 2016. Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Morfologi dan Jumlah Pori Karbon Aktif Tempurung Kemiri Sebagai Elektroda. *Jurnal Fisika Unand*, 5(4), pp. 297-302
- Khairati, M. 2014. Pengaruh Elektrolit H₃PO₄ Terhadap Sifat Listrik Pada Elektroda Superkapasitor dari Campuran Zeolit dan Resin Damar. Skripsi tidak diterbitkan. Padang, Universitas Andalas
- Kristianto, H., 2017. Review: Sintesis Karbon Aktif Dengan Menggunakan Aktivasi Kimia ZnCl₂. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(3), pp. 104-101.
- Mujiyanti, D.R., Nuryono. & Kunarti, E.S. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Sekam Padi Yang Dimobilisasi Dengan 3-(trimetoksisilil)-1-propanol. *J.Sains dan Terapan Kimia*, 04(02), pp.150-167.
- Nurdiana, H., Rohmawati, L. & Setyarsih, W. 2016. Pengaruh Penambahan Massa Aktivator PEG terhadap Nilai Kapasitansi Elektroda Pada Superkapasitor dari Tempurung Kluwak (*pangium edule*). *Jurnal Inovasi Fisika (IFI)*, 05(01), pp. 15-18.
- Ramalla, I., Gupta, R. K. & Bansal, K., 2015. Effect on superhydrophobic surfaces on electrical porcelain insulator, improved technique at polluted areas for longer life and reliability. *International Journal of Engineering & Technology*, 4(4), pp. 509-519 .
- Sembiring, M. T. & Sinaga, T. S., 2003. Arang Aktif Pengelatan dan Proses Pembuatannya. *Jurnal Kimia Digitized*, pp. 2-9.
- Sudarlin, 2008. Analisis Daya Saing Pengusahaan Komoditi Lada Putih (Muntok *White Pepper*), Bogor: Insitut Pertanian Bogor
- Wibowo, N., Setiawan, J. & Ismadji, S., 2004. Modifikasi Gugus Aktif Suatu Karbon Karbon Aktif dan Karakterisasinya. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 01(03), pp.39-46.
- Yueming, L., Zijll, M. V., Chiang, S. & Pan, N. 2011. KOH Modified Graphene Nanosheets for Supercapacitor Electrodes. *Journal of Power Sources*, Volume 196, pp. 6003-6006.
- Yusriwandi, Taer, E. & Farma, R., 2017. Pembuatan dan Karakterisasi Elektroda Karbon Aktif Dengan Karbonisasi dan Aktivasi Bertingkat Menggunakan Gas CO₂ dan Uap Air. *Jurnal Ilmiah Edu Research*, 6(1), pp. 21-26.
- Zuleta, M., Björnborn, P. & Lundblad, A. 2005. Pengaruh Oksidasi Permukaan Pori pada Sifat Elektrokimia dan Transportasi Massa Karbon Nanopori. *Journal of The Electrochemical Society*, Volume 152, pp. 270-276.