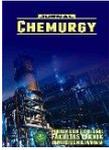


	<h1>JURNAL CHEMURGY</h1> <p>E-ISSN 2620-7435</p> <p>Available online at http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK</p>	 <p>SINTA Accreditation No. 200/M/KPT/2020</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

KARBONISASI LIMBAH KELAPA SAWIT DENGAN PROSES HIDROTHERMAL SEBAGAI BAHAN BAKU ELEKTRODA SUPERKAPASITOR

MANUFACTURING CARBON MATERIAL BY CARBONIZATION OF PALM OIL WASTE FOR SUPERCAPACITOR MATERIAL

Tantra Diwa Larasati^{1*}, Tirta Prakoso², Jenny Rizkiana²

¹Department of Chemical Engineering, Engineering Faculty, Mulawarman University
Jl. Sambaliung No. 9, Gunung Kelua, Samarinda, Indonesia

²Department of Chemical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha, Lebak Siliwangi, Bandung, Indonesia

*email : tantralarasati@ft.unmul.ac.id

(Received: 15 June 2021; Reviewed: 17 June 2021; Accepted: 17 June 2021)

Abstrak

Limbah kelapa sawit merupakan sumber biomassa yang melimpah di Indonesia. Ketersediaan biomassa kelapa sawit ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku produk bernilai tambah tinggi. Salah satu produk yang dapat dihasilkan adalah karbon aktif. Karbon aktif merupakan material berpori dan memiliki konduktivitas yang baik, membuat karbon aktif cocok digunakan sebagai material elektroda superkapasitor. Karbon aktif dibuat melalui dua proses utama yaitu karbonisasi dan aktivasi. Proses karbonisasi yang dilakukan adalah karbonisasi hidrotermal dilanjutkan dengan aktivasi secara fisika. Penelitian ini difokuskan pada pembuatan karbon aktif berbasis limbah kelapa sawit dengan proses karbonisasi hidrotermal untuk bahan baku superkapasitor. *Mesopore area* dari karbon aktif terbentuk akibat penggunaan CaCl_2 sebagai agen pengaktivasi selama proses hidrotermal. Karbon aktif yang dihasilkan dari tandan kosong kelapa sawit memiliki luas permukaan 375 – 723 m^2/g dan ukuran pori 3,4 – 5,6 nm. Pada penelitian ini, karbon aktif digunakan sebagai elektroda kerja pada superkapasitor tipe *hybrid* simetrikal. Sel superkapasitor ini mampu menghasilkan kapasitansi sebesar 4,3015 F/g.

Kata Kunci: biomassa, karbon aktif, hidrotermal, superkapasitor

Abstract

Palm oil waste is an abundant biomass resource in Indonesia that is not well utilized as a raw material for producing high value-added materials. One product that is possible to be manufactured from oil palm biomass is activated nano carbon. Characteristics of high porosity and good conductivity will lead the activated nano carbon suitable as an electrode of supercapacitor material. Preparation of activated nano carbon is conducted by two main steps namely carbonization and activation. In this research, carbonization is done by hydrothermal process while activation is done by physical activation. This study focused on manufacturing activated nano carbon from empty fruit bunches of oil palm with hydrothermal carbonization for supercapacitor applications. The activation of mesopore area of the carbon has been taken place by using ZnCl_2 and CaCl_2 as a chemical activating agent during the hydrothermal process. The activated nano carbon produced from empty fruit bunches has a surface area of 375 - 723 m^2/g and a pore size of 3.4 – 5.6 nm. In this study activated nano carbon is used as a working electrode in symmetric hybrid supercapacitor.

Keywords: oil palm biomass, activated carbon, hydrothermal, supercapacitor

1. PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan komoditas perkebunan yang memegang peranan penting bagi perekonomian Indonesia sebagai salah satu penyumbang devisa non-migas yang cukup besar. Salah satu produksi dari hasil industri adalah minyak kelapa sawit. Indonesia merupakan negara penghasil minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) terbesar di dunia, dengan volume produksi minyak yang meningkat tiap tahunnya. Pada tahun 2015 total luas perkebunan sawit di Indonesia sebesar 11,3 juta hektar dan produksi minyak kelapa sawit atau *Crude Palm Oil* (CPO) sebesar 31 juta ton (Direktorat Jenderal Perkebunan 2015) dan menyebabkan jumlah limbah yang dihasilkan semakin meningkat. Limbah padat kelapa sawit merupakan salah satu biomassa yang ketersediaannya melimpah sehingga pengolahan limbah padat kelapa sawit dibutuhkan untuk meningkatkan nilai guna. Pemanfaatan limbah padat yang berupa biomassa dapat dilakukan dengan konversi termokimia yaitu dengan mengubah limbah padat menjadi karbon aktif dengan proses karbonisasi dan aktivasi. Karbon aktif merupakan material karbon berpori yang memiliki porositas dan luas permukaan yang besar. Karbon aktif komersial mempunyai luas permukaan yang cukup tinggi, yaitu berkisar antara 300-3500 m²/g dan volume pori berkisar antara 0,7-1,8 cm³/g (Cencen dan Aktas, 2012). Aplikasi karbon aktif pada umumnya sebagai adsorben, *support* katalis, sintesis karbon, penyimpanan energi dan lainnya (Frackowiak *et al.*, 2013). Salah satu aplikasi penyimpanan energi yang menggunakan karbon aktif adalah superkapasitor. Superkapasitor merupakan salah satu media penyimpanan energi yang memiliki densitas energi yang lebih besar dari pada kapasitor dan daya yang lebih besar dari pada baterai, karena memiliki konduktivitas elektrik yang tinggi, murah dan mudah didapatkan (Hong Jin *et al.*, 2013). Aplikasi penyimpanan energi, karbon aktif diharapkan memiliki ukuran *mesopore* (Jain *et al.*, 2015), karena volume *mesopore* yang besar mampu memberikan kapasitansi yang stabil saat terjadi peningkatan arus.

Proses pembuatan karbon aktif terdiri dari dua tahap utama, karbonisasi dan aktivasi. Proses pembuatan karbon aktif akan mempengaruhi karakteristik dari karbon aktif yang dihasilkan. Alternatif proses karbonisasi yang dapat digunakan adalah proses hidrotermal yang memanfaatkan media air dalam reaktor bertekanan. Hidrotermal karbonisasi merupakan proses konversi termokimia yang menggunakan media air subkritis untuk mengkonversi senyawa organik (seperti biomassa) menjadi produk bernilai tambah pada sistem tertutup dibawah tekanan *autogenous* dengan rentang temperatur 180-350°C (Berge *et al.*, 2011).

2. METODOLOGI

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah reaktor hidrotermal dan *tubular furnace*. Bahan baku yang digunakan berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang diperoleh dari PT. Perkebunan Nusantara VIII di bogor. Pada tahap persiapan bahan baku, tandan kosong kelapa sawit dibersihkan dan dikeringkan, kemudian bahan baku dihaluskan hingga ukuran 35-80 mesh.

2.1 Penghilangan Kadar Abu Biomassa

Bahan baku yang telah melalui tahap persiapan kemudian dilakukan proses *deashing* untuk menghilangkan kadar abu. Penghilangan kadar abu dilakukan untuk melihat pengaruhnya untuk perlakuan hidrotermal. Penghilangan kadar abu dapat membentuk pori sehingga luas permukaan menjadi lebih tinggi. Proses penghilangan kadar abu tandan kosong kelapa sawit menggunakan larutan HF. Tandan kosong kelapa sawit dengan berat tertentu dicampurkan dengan larutan HF 1 M dalam gelas kimia dilengkapi dengan *stirrer* dengan perbandingan biomassa terhadap HF sebesar 1:25 dan diaduk selama 60 menit. Setelah pengadukan selesai, campuran yang terbentuk disaring dan tandan kosong kelapa sawit yang tersaring dikeringkan pada temperatur 105°C semalaman. Selanjutnya tandan kosong kelapa sawit mentah dan tandan kosong kelapa sawit yang telah dihilangkan kadar abunya dijadikan umpan untuk proses berikutnya

2.2 Karbonisasi Hidrotermal

Bahan baku yang telah disiapkan dimasukkan ke dalam reaktor hidrotermal berisi air yang telah dicampurkan dengan variasi *activating agent* yaitu CaCl₂. Rasio bahan baku : air sebesar 1:3 dimasukkan ke dalam reaktor hidrotermal. Proses hidrotermal dilakukan pada temperatur 275°C,

dengan variasi *activating agent* dan rasio *activating agent* terhadap bahan baku yang telah ditentukan. Reaktor kemudian dipanaskan hingga temperatur yang telah ditetapkan. Setelah tercapai, temperatur reaktor dijaga konstan selama 60 menit. *Bio-char* yang diperoleh kemudian disaring untuk dipisahkan cairannya. Setelah itu *bio-char* dikeringkan pada temperatur 105°C selama 24 jam.

2.3 Aktivasi

Bio-char hasil dari proses karbonisasi diaktivasi menggunakan gas CO₂. Pada tahap aktivasi *bio-char* dimasukkan ke dalam *tubular furnace*. Temperatur *furnace* dinaikkan hingga 800°C dengan laju pemanasan sebesar 10°C/menit pada atmosfer N₂ yang dialirkan gas N₂ dengan laju 50 mL/menit. Setelah temperatur tercapai, aliran gas N₂ diganti dengan gas CO₂ dengan laju 40 mL/menit dan dijaga selama 2 jam. Kemudian, *furnace* didinginkan sambil mengganti aliran gas CO₂ dengan gas N₂ dengan laju 50 mL/menit hingga temperatur ruang. Karbon aktif yang dihasilkan kemudian dicampur dengan larutan HCl 0,1 mol/L) dan diaduk selama 30 menit. Karbon aktif dicuci dengan aqua DM hingga pH bekas air cucian netral. Karbon aktif yang telah dicuci kemudian dikeringkan pada suhu 105°C selama 24 jam.

2.4 Karakterisasi Karbon Aktif

Analisis kadar abu biomassa dilakukan dengan metode gravimetri. Analisis SEM dilakukan untuk mengetahui struktur morfologi karbon aktif. Analisis dilakukan di Pusat Penelitian Nanosains dan Nanoteknologi ITB menggunakan SEM Hitachi SU3500. Analisis adsorpsi-desorpsi nitrogen dengan metode perhitungan BET dilakukan untuk mengetahui luas permukaan karbon aktif. Analisis dilakukan di Laboratorium Instrumentasi Teknik Kimia ITB menggunakan *Quantochrome Instruments Nova 3200e*.

2.5 Analisis Elektrokimia

Analisis elektrokimia dilakukan untuk menguji kinerja elektrokimia material karbon aktif yang dihasilkan pada penelitian saat diaplikasikan menjadi sel superkapasitor. Analisis elektrokimia yang dilakukan untuk menguji kinerja sel superkapasitor dari material karbon aktif adalah *cyclic voltammetry* (CV) dan *galvanostatic charge/discharge* (GCD). Analisis ini dilakukan menggunakan potensiostat Gamry V3000. Analisis elektrokimia dilakukan dengan membuat sel superkapasitor dengan ukuran 1 cm x 1 cm berbasis karbon aktif. Sel superkapasitor dibuat menjadi simetrisal sel. Campuran material karbon aktif bertindak sebagai elektroda yang ditempelkan di atas *stainless steel mesh* dengan larutan KOH bertindak sebagai elektrolit. Kedua elektroda ini dipisahkan dengan membran Nafion 212.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini terdiri dari empat bagian, bagian pertama mengenai penghilangan kadar abu biomassa. Bagian kedua mengenai pengaruh variabel proses terhadap perolehan karbon aktif. Bagian ketiga mengenai karakteristik fisik karbon aktif dan bagian keempat mengenai uji elektrokimia karbon aktif sebagai elektroda superkapasitor.

3.1. Penghilangan Kadar Abu Biomassa

Tabel 1. Menunjukkan komposisi senyawa yang terkandung dalam tandan kosong kelapa sawit. Hasil analisis pada Tabel 1 menunjukkan karakteristik dari tandan kosong kelapa sawit yang umumnya tumbuh di daerah Indonesia. Hasil analisis proksimat menunjukkan *fixed carbon* dan *volatile matter* yang dimiliki oleh tandan kosong kelapa sawit yang cukup besar sehingga cocok untuk dijadikan bahan baku pembuatan karbon aktif (Lua *et al.*, 2006).

Tabel 1. Analisis ultimat dan proksimat TKKS

Analisis Ultimat					Analisis Proksimat			
C	H	O	N	S	M	VM	FC	A
48,83%	6,52%	39,64%	0,69%	0,13%	5,47%	73,17%	17,17%	4,19%

Kandungan mineral pembentuk abu pada biomassa disingkirkan dengan penggunaan katalis asam kuat. Asam kuat dapat memecah kandungan biomassa menjadi karbohidrat, protein, lipid, serta mineral pembentuk abu biomassa (Potthathil *et al.*, 2012). Katalis asam kuat berupa HF digunakan untuk menghilangkan kandungan pembentuk abu yang terdapat pada biomassa (Das *et al.*, 2004). Setelah melalui proses *deashing*, kadar abu tandan kosong kelapa sawit dihitung berdasarkan hasil analisis gravimetri di mana sejumlah sampel tandan kosong kelapa sawit dibakar di dalam *furnace* pada temperatur 800°C selama 6 jam. Sisa pembakaran merupakan abu yang terdapat dalam tandan kosong kelapa sawit. Hasil perhitungan kadar abu tandan kosong kelapa sawit sebelum dan setelah proses *deashing* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan kadar abu

Sampel	Kadar Abu (%)
TKKS	4,19
TKKS <i>Deashing</i>	2,86

3.2. Pengaruh Variabel Proses Terhadap Perolehan Karbon Aktif

Hasil perolehan massa karbon aktif disajikan pada Tabel 3. menunjukkan variasi *activating agent* dan variasi rasio *activating agent* terhadap bahan baku berpengaruh terhadap perolehan massa karbon aktif.

Tabel 3. Perolehan massa karbon aktif

<i>Activating Agent</i>	Rasio <i>Activating Agent</i> :Bahan Baku	Perolehan Karbon Aktif
CaCl ₂	1:1	4,828 g
	2:1	7,981 g
	3:1	9,771 g

Tabel 4. Perolehan massa karbon aktif (*deashing* bahan baku)

<i>Activating Agent</i>	Rasio <i>Activating Agent</i> :Bahan Baku	Perolehan Karbon Aktif
CaCl ₂	2:1	8,933 g

Perolehan karbon aktif mengalami peningkatan menjadi 8,933 g untuk karbon aktif hasil karbonisasi hidrotermal dengan penambahan *pre-treatment deashing* bahan baku. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan variabel proses berupa temperatur karbonisasi hidrotermal, perubahan rasio massa bahan baku terhadap *activating agent* dan penambahan *pre-treatment deashing* bahan baku berpengaruh terhadap perolehan karbon aktif yang dihasilkan.

3.3. Karakterisasi Fisik Karbon Aktif

Hasil analisis luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan dari tandan kosong kelapa sawit dan cangkang kelapa sawit disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Luas Permukaan karbon aktif tanpa *deashing*

<i>Activating Agent</i>	Rasio <i>Activating Agent</i> :Bahan Baku	Luas Permukaan (m ² /g)
CaCl ₂	1:1	469
	2:1	528
	3:1	375

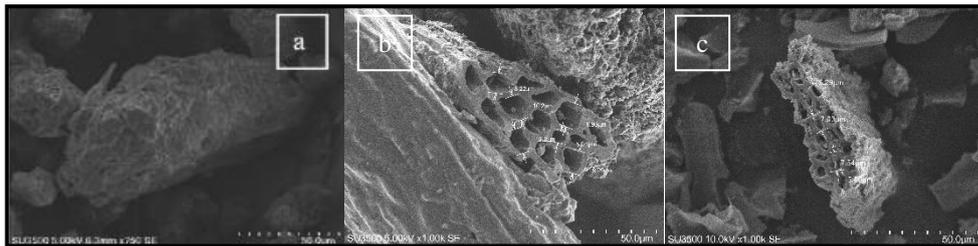
Berdasarkan hasil analisis perhitungan dengan metode BET dapat dilihat bahwa luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah *activating agent* yang digunakan. CaCl_2 yang bertindak sebagai *activating agent* selama proses karbonisasi hidrotermal berlangsung dapat menghilangkan kandungan oksigen dan hidrogen dalam biomassa dengan membentuk air, serta dapat meningkatkan porositas dari material tersebut setelah melalui proses aktivasi (Jain *et al.*, 2014).

Tabel 6. Luas Permukaan karbon aktif dengan *deashing*

<i>Activating Agent</i>	Rasio <i>Activating Agent</i> :Bahan Baku	Luas Permukaan (m^2/g)
CaCl_2	2:1	723

Luas permukaan karbon aktif dengan *pre-treatment deashing* bahan baku meningkat dari $528 \text{ m}^2/\text{g}$ menjadi $723 \text{ m}^2/\text{g}$ untuk variasi dan kondisi operasi yang sama. Peningkatan luas permukaan karbon aktif ini disebabkan karena proses *pre-treatment deashing* bahan baku yang menyebabkan sebagian abu hilang dalam matriks biomassa, sehingga terbentuk celah-celah baru dalam matriks biomassa yang menyebabkan luas permukaan karbon aktif meningkat.

Gambar 1. menunjukkan bahan baku serta karbon aktif yang dihasilkan setelah melalui proses karbonisasi hidrotermal dan aktivasi. Hasil SEM menunjukan kondisi bahan baku mentah berupa tandan kosong kelapa sawit dan cangkang kelapa sawit memiliki permukaan kasar dan pori-pori tertutup. Setelah melalui proses karbonisasi hidrotermal dan aktivasi pori-pori dari tandan kosong kelapa sawit terbuka akibat *heat treatment* yang diberikan selama proses karbonisasi hidrotermal dan aktivasi.



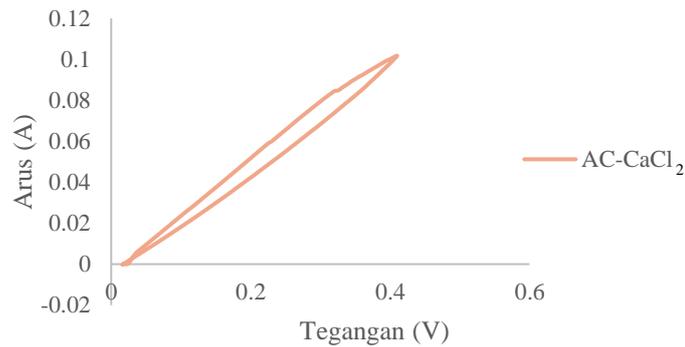
Gambar 1. Hasil analisis SEM (a) tandan kosong kelapa sawit, (b) dan (c) karbon aktif CaCl_2

3.4. Analisis Elektrokimia

Analisis elektrokimia dilakukan untuk menguji kinerja elektrokimia material karbon aktif yang dihasilkan pada penelitian saat diaplikasikan menjadi sel superkapasitor. Analisis elektrokimia yang dilakukan untuk menguji kinerja sel superkapasitor dari material karbon aktif adalah *cyclic voltammetry* (CV) dan *galvanostatic charge/discharge* (GCD). Analisis ini dilakukan menggunakan potensiostat Gamry V3000.

Analisis elektrokimia dilakukan dengan membuat sel superkapasitor dengan ukuran $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ berbasis karbon aktif. Sel superkapasitor dibuat menjadi simetrikal sel. Campuran material karbon aktif bertindak sebagai elektroda yang ditempelkan di atas *stainless steel mesh* dengan larutan KOH bertindak sebagai elektrolit. Kedua elektroda ini dipisahkan dengan membran Nafion 212.

Gambar 2. Merupakan voltammogram siklik dari karbon aktif sintesis yang cenderung membentuk slope. Siklus yang dihasilkan belum stabil, terlihat lebih datar dan tidak berbentuk jajaran genjang seperti pada kapasitor ideal. Bentuk jajaran genjang atau *rectangular* menandakan bahwa proses *charging-discharging* berlangsung pada hambatan dalam sel superkapasitor cukup besar (Thambirudai *et al.*, 2014). Bentuk kurva yang dihasilkan diduga terjadi karena reaksi korosi pada elektroda akibat membran nafion 212 yang merupakan bahan dielektrik yang digunakan terlalu tipis, selain itu hal ini dapat disebabkan oleh proses pembuatan sel yang kurang sempurna sehingga menyebabkan udara berinteraksi dengan sel, larutan elektrolit yang mudah mengering dan adanya guncangan sewaktu proses analisis (Hadisaputra, 2016).



Gambar 2. Voltamogram sel superkapasitor

Nilai kapasitansi setiap sel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Elmouwahidi *et al.*, 2012):

$$C = \frac{\sum |I| \cdot \Delta t}{m \cdot \Delta V} \quad (1)$$

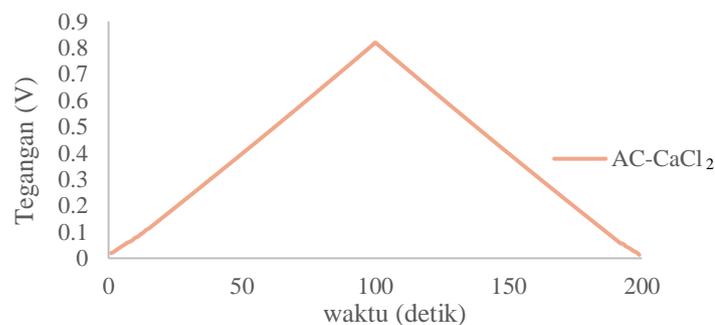
dengan $\sum |I| \cdot \Delta t$ adalah luas area kurva $|I|$ (A) terhadap t (detik), m (gr) adalah massa bahan aktif di dalam sel, ΔV (V) adalah rentang operasi tegangan sel. Hasil perhitungan kapasitansi sel dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai kapasitansi sel superkapasitor

Material	Kapasitansi (F/g)
Karbon aktif menggunakan aktivator CaCl_2	4,305

Nilai kapasitansi ini dipengaruhi oleh ukuran pori rata-rata karbon aktif keduanya. Ukuran pori rata-rata karbon aktif yang lebih besar lebih memudahkan transfer antar ion dan elektron. Kapasitansi yang dihasilkan ini sesuai dengan hasil analisis adsorpsi isoterm. Namun nilai kapasitansi sel yang dihasilkan dari keduanya masih cukup rendah. Hal ini diduga karena koneksi antar fasa dan sistem penyegelan yang belum sempurna (Yandra, 2015). Sistem penyegelan yang belum optimal ini memungkinkan adanya gugus fungsi oksigen yang reaktif serta tidak stabil sehingga mengganggu proses perindahan ion (Gu *et al.*, 2013). Reaksi samping antara karbon dan elektrolit juga dapat mempengaruhi besar kecilnya kapasitansi sel (Puthusseri *et al.*, 2014). Selain itu diduga tertangkapnya ion elektrolit yang ada dalam pori menyebabkan pusat aktif penyimpanan muatan menurun.

Gambar 3. menunjukkan kurva yang dihasilkan dari sel superkapasitor yang terbuat dari karbon aktif sintesis memiliki bentuk segitiga yang linear dan simetris, hal ini menunjukkan sel superkapasitor memiliki kinerja kapasitif yang baik (Abioye *et al.*, 2017).



Gambar 3. Kurva galvanostatic charge/discharge (GCD) sel superkapasitor

Kurva *galvanostatic charge/discharge* (GCD) yang dihasilkan dari sel superkapasitor berbahan karbon aktif yang menggunakan aktivator CaCl_2 menunjukkan bahwa kapasitansi sel superkapasitor yang terbuat dari karbon aktif dengan CaCl_2 sesuai dengan hasil perhitungan yang dilakukan berdasarkan analisis *cyclic voltammetry* (CV). Hal ini terjadi kemungkinan disebabkan hambatan elektroda sel superkapasitor yang terbuat dari karbon aktif dengan menggunakan CaCl_2 sebagai aktivator lebih kecil sehingga kemampuan penyimpanan energinya cukup baik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini maka dapat ditarik kesimpulan bahwa perolehan karbon aktif dari limbah kelapa sawit dapat ditingkatkan dengan penambahan rasio *activating* agent terhadap bahan baku. Penambahan *pre-treatment deashing* bahan baku menyebabkan luas permukaan karbon aktif semakin besar. Dari hasil analisis CV didapat kapasitansi sel sebesar 4,305 F/g. Nilai kapasitansi yang terlalu kecil ini diduga disebabkan oleh hambatan yang terlalu besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abioye, A. M., Noorden, Z. A., & Ani, F. N. (2017) 'Synthesis and Characterizations of Electroless Oil Palm Shell Based-Activated Carbon/Nickel Oxide Nanocomposite Electrodes for Supercapacitor Applications', *Electrochimica Acta*, 225, p. 493-502.
- Basu, P. (2013) 'Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory', *Academic Press*.
- Berge Hydrothermal Carbonization of Municipal Waste Streams
- Cencen F and Aktas O 2012 *Activated Carbon for Water and Wastewater Treatment* Integration of Adsorption and Biological Treatment (Germany: Wiley-VCH).
- Das, P., Ganesh, A., Wangikar, P. (2004) 'Influence of pretreatment for deashing of sugarcane bagasse on pyrolysis products', *Biomass and Bioenergy*, 27, p. 445-457.
- Dirjen Perkebunan Indonesia (2015), 'Data Statistik Produksi Minyak Kelapa Sawit di Indonesia', Diakses pada April 2017.
- Elmouwahidi, A., Zapata-Benabithé, Z., Carrasco-Marín, F., dan Moreno-Casti, C. (2012), 'Activated carbons from KOH-activation of argan (*Argania spinosa*) seed shells as supercapacitor electrodes', *Bioresource Technology*, 111, p. 185-190.
- Falco, C., Marco-Lozar, J. P., Salinas-Torres, D., Morallón, E., Cazorla-Amorós, D., Titirici, M. M., dan Lozano-Castelló, D. (2013), 'Tailoring the porosity of chemically activated hydrothermal carbons: influence of the precursor and hydrothermal carbonization temperature', *Carbon*, 62, p. 346-355.
- Frackowiak, E., dan Béguin, F. (2001), 'Carbon Materials for the Electrochemical Storage of Energy in Capacitor's', *Carbon*, 3, p. 937-950.
- Frackowiak, E., Abbas, Q., dan Béguin, F. (2013), 'Carbon/carbon Supercapacitors', *Journal of Energy Chemistry*, 22(2), p. 226-240.
- Gu, W., Peters, N., dan Yushin, G. (2013), 'Functionalized Carbon Onions, Detonation Nanodiamond and Mesoporous Carbon as Cathodes in Li-Ion Electrochemical Energy Storage Devices', *Carbon*, 53, p.292-301.
- Hendriansyah, R. (2017), 'Karbonisasi Limbah Sawit Berselulosa untuk Pembuatan Karbon Bahan Supercapacitor', *Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung*.
- Jain, A., Jayaraman, S., Balasubramanian, R., dan Srinivasan, M. P. (2014), 'Hydrothermal Pre-Treatment for Mesoporous Carbon Synthesis: Enhancement of Chemical Activation', *Journal of Materials Chemistry A*, 2(2), p. 520-528.
- Jain, A., Xu, C., Jayaraman, S., Balasubramanian, R., Lee, J. Y., dan Srinivasan, M. P. (2015), 'Mesoporous Activated Carbons with Enhanced Porosity by Optimal Hydrothermal Pre-Treatment of Biomass for Supercapacitor Applications', *Microporous and Mesoporous Materials*, 218, 55-61.

- Jain, A., Balasubramanian, R., dan Srinivasan, M. P. (2015), 'Tuning hydrochar properties for enhanced mesopore development in activated carbon by hydrothermal carbonization', *Microporous and Mesoporous Materials*, 203, p. 178-185.
- Jain, A., Balasubramanian, R., & Srinivasan, M. P. (2016), 'Hydrothermal Conversion of Biomass Waste to Activated Carbon with High Porosity: A review'. *Chemical Engineering Journal*, 283, p. 789-805.
- Jin, H., Wang, X., Gu, Z., Anderson, G., Muthukumarappan, K. (2014), 'Distillers Dried Grains with Soluble (DDGS) Bio-Char Based Activated Carbon for Supercapacitors with Organic Electrolyte Tetraethylammonium Tetrafluoroborate'.
- Lua, A. C., Lau, F. Y., & Guo, J. (2006) 'Influence of pyrolysis conditions on pore development of oil-palm-shell activated carbons', *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 76(1), 96-102.
- Marsh, H., dan Rodriguez, F. (2006), 'Activated Carbon', *Elsevier Science & Technology Books*.
- N. D. Berge, K. S. Ro, J. Mao, J. R. V. Flora, M. A. Chappel and S. Bae. (2011) "Hydrothermal Carbonization of Municipal Waste Streams," *Environmental Science & Technology*, vol. 45, no. 13, pp. 5696-5703
- Nizamuddin, S., Kumar, J., Subramanian, N., Sahu, J. N., Ganesan, P., Mubarak, N. M., dan Mazari, S. A. (2015), 'Synthesis and Characterization of Hydrochars Produced by Hydrothermal Carbonization of Oil Palm Shell', *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 93(11), p. 1916-1921.
- Pottathil, R., Bowers, J.S.Jr., dan Havemann, G.D., (2012), 'Method of ash removal from biomass', US Patent 2012 0009660.
- Puthusseri, D., Aravindan, V., Madhavi, S., dan Ogale, S. (2014), '3D Micro-Porous Conducting Carbon Beehive by Single Step Polymer Carbonization for High Performance Supercapacitors: The Magic of In Situ Porogen Formation', *Energy & Environmental Science*, 7(2), p. 728-735.
- Thambidurai, A., Lourdasamy, J. K., John, J. V., dan Ganesan, S. (2014), 'Preparation and Electrochemical Behaviour of Biomass Based Porous Carbons as Electrodes for Supercapacitors - a Comparative Investigation', *Korean Journal of Chemical Engineering*, 31(2), p. 268-275.
- Yandra, R.E. (2015), 'Pengaruh Penambahan *Carbon Nano Composite* pada Superkapasitor Berbasis Biomasa', *Magister Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung*.
- Yuliansyah, A. T., Hirajima, T., Kumagai, S., dan Sasaki, K. (2010), 'Production of solid biofuel from agricultural wastes of the palm oil industry by hydrothermal treatment', *Waste and biomass valorization*, 1(4), p. 395-405.