

PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI KARBON AKTIF BERBAHAN BAKU LIMBAH KULIT DURIAN SEBAGAI ELEKTRODA SUPERKAPASITOR

Pramahadi Febriyanto^{1*}, Jerry¹, Arysca Wisnu Satria¹, Hary Devianto²

¹Program Studi Teknik Kimia, Jurusan Teknologi Produksi dan Industri, Institut Teknologi Sumatera

²Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung

*Email: pramahadi.febriyanto@tk.itera.ac.id

Abstrak

Bahan karbon disintesis dari limbah kulit durian menggunakan reaktor hidrotermal pada suhu 275°C selama 1 jam. Bahan karbon yang diperoleh kemudian dipisahkan dari fase cair dan dikeringkan dalam oven selama 12 jam dan diaktifkan dalam tungku dengan meningkatkan suhu secara bertahap hingga 800°C selama 2 jam di dalam atmosfer nitrogen dengan laju aliran gas 50 mL/menit. Sifat permukaan dari bahan karbon dipelajari menggunakan pemindaian mikroskop elektron (SEM) dan analisis Brunauer-Emmett-Teller (BET). Luas permukaan karbon aktif yang diperoleh adalah 1327 m²/g. Sifat elektrokimia karbon aktif dievaluasi dengan menggunakan *Cyclic Voltammetry* (CV) dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS). Supercapacitor yang dibuat adalah kapasitor *Electrical Double-Layer Capacitor* (EDLC) simetris menggunakan elektrolit KOH 6 M terlarut dalam etanol. Kapasitansi spesifik yang diperoleh adalah 18 mF/g.

Kata Kunci: Durian, Karbon Aktif, Supercapacitor

Abstract

Carbon materials was synthesized from durian shell waste using hydrothermal reactor at 275 °C for 1 hour. The carbon materials obtained then separated from liquid phase and dried in oven for 12 hours and activated in furnace by gradually increasing the temperature to 800 °C for 2 hours under nitrogen atmosphere with gas flow rate of 50 mL/minutes. Surface properties of the carbon materials was studied using scanning electron microscopy (SEM) and Brunauer-Emmett-Teller (BET) analysis. The surface area of the activated carbon was found to be 1327 m²/g. The electrochemical properties of activated carbons were evaluated by using *Cyclic Voltammetry* (CV) and *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS). The capacitor was fabricated as symmetrical *Electrical Double-Layer Capacitor* (EDLC) and their electrochemical properties were studied. Specific capacitance of 18 mF/g in 6 M ethanol dissolved KOH electrolyte was obtained.

Keywords: Activated Carbon, Durian, Supercapacitor

1. PENDAHULUAN

Buah durian merupakan primadona bagi sebagian besar penduduk Indonesia dengan angka produksi mencapai 500–700 ribu ton per tahun serta banyaknya impor durian per tahunnya mencapai 25.504 ton pada tahun 2011 (Santoso, 2012). Konsumsi durian ini menimbulkan dampak lingkungan berupa limbah biomassa kulit durian terutama pada musim puncak panen durian di bulan November–Januari.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk memanfaatkan limbah durian ini di antaranya sebagai pembungkus makanan (*edible film*) (Amaliyah, 2014), biopestisida (Kusumaningtyas dkk., 2017), biobriket (Nuriana dkk., 2013), biobaterai (Khairiah dan Destini, 2017), dan karbon aktif (Chandra dkk., 2009; Ulfia dan Astuti, 2014; Marlinawati dkk., 2015; Aristo dkk., 2018). Aplikasi karbon aktif dalam proses industri sangat beragam, mulai dari adsorben dalam proses pemurnian air hingga elektroda dalam produksi superkapasitor. Superkapasitor telah menarik banyak perhatian karena aplikasinya yang luas mulai dari sumber daya tambahan pada peralatan listrik dari perangkat seluler hingga kendaraan listrik. Superkapasitor menjanjikan kapasitas penyimpanan energi yang besar karena kepadatan daya yang tinggi, kepadatan energi yang tinggi, dan siklus hidup yang panjang.

Karbon aktif pada umumnya digunakan untuk membuat kapasitor jenis EDLC yang menyimpan energi pada lapisan ganda listrik, yang terjadi pada antarmuka elektroda karbon-elektrolit (Ji dkk., 2014). Untuk mendapatkan kerapatan energi yang wajar, karbon aktif harus memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi. Untuk memastikan perolehan nilai kapasitansi spesifik tinggi, resistivitas rendah, dan tekstur mikro diadaptasi dengan baik untuk memungkinkan aksesibilitas elektrolit yang baik ke permukaan bagian dalam elektroda (Kuzmenko dkk., 2015; Zhang dkk., 2015).

Karbon aktif dapat dibuat dari bahan-bahan yang mengandung karbon, seperti batu bara. Karbon-karbon ini dapat dibuat dari bahan biomassa residu atau limbah, yang merupakan bahan baku alternatif berbiaya rendah (Azevedo dkk., 2007; Prahastika dkk., 2008; Chandra dkk., 2009; Ahmad dan Alrozi, 2011; Ahmad dkk., 2012). Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari potensi pemanfaatan limbah kulit durian sebagai bahan biomassa limbah yang umum tersedia di wilayah Lampung Selatan sebagai bahan baku alternatif untuk menghasilkan karbon aktif yang digunakan sebagai material elektroda superkapasitor.

Material karbon aktif yang disiapkan dikarakterisasi dengan sejumlah metode yang meliputi *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *X-ray Diffraction* (XRD) dan pengukuran luas permukaan spesifik serta distribusi ukuran pori menggunakan adsorpsi-desorpsi gas nitrogen. Sedangkan karakterisasi elektrokimia dari superkapasitor yang telah dibuat, dilakukan dengan

menggunakan *Cyclic Voltammetry* (CV) dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS).

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Bahan baku

Bahan biomassa limbah kulit durian digunakan sebagai bahan baku karbon aktif. Sampel limbah durian dikumpulkan dari Kabupaten Lampung Selatan Indonesia. Sebelum digunakan, limbah kulit durian dicuci bersih dengan menggunakan air dan dikeringkan dengan oven pada suhu 110°C selama 24 jam. Kulit durian kering yang diperoleh kemudian digiling dan diayak sehingga diperoleh serbuk kulit durian kering dengan ukuran 28 hingga 48 mesh.

2.2 Pembuatan karbon aktif

Serbuk kulit durian yang telah disiapkan diresapi dengan $ZnCl_2$ (rasio berat 1/3) dan dikarbonisasi menggunakan reaktor hidrotermal pada 275°C selama 1 jam. Setelah didinginkan, produk reaktor hidrotermal yang diperoleh dipisahkan antara fase padat dan fase cair. Fase cair yang diperoleh kemudian akan dimanfaatkan untuk penelitian lanjutan. Sedangkan fase padat yang terpisahkan kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C selama 12 jam menghasilkan karbon. Sampel karbon kering kemudian diaktifkan pada suhu 800°C di bawah aliran nitrogen (50 mL/menit) selama 2 jam. Akhirnya, karbon yang telah diaktifkan digiling, dinetralkan dengan larutan 0,5 M HCl dan dicuci beberapa kali dengan air suling panas hingga air cucuannya memiliki pH konstan (5,0–6,0). Sampel karbon aktif yang telah dicuci kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C selama 12 jam dan disimpan dalam desikator.

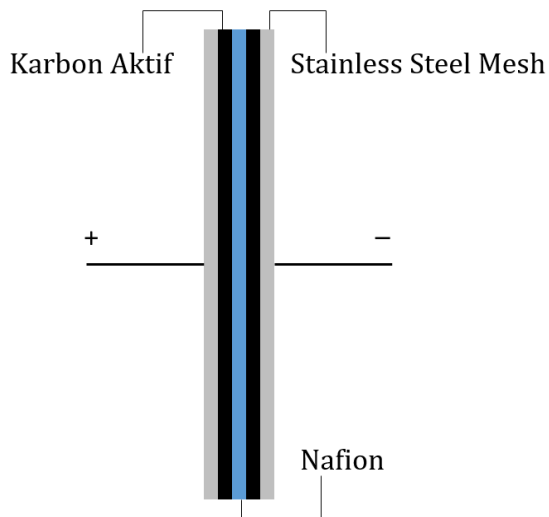
2.3 Karakterisasi Material

Pengamatan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan dengan menggunakan Hitachi SU3500 untuk mengamati morfologi dari bahan baku kulit durian dan karbon aktif yang diperoleh. Pengambilan gambar SEM dilakukan dengan menggunakan tegangan percepatan pada 10 kV dengan jarak kerja sekitar 5 mm tanpa proses pelapisan. *X-ray Diffraction* (XRD) direkam menggunakan PANalytical X'Pert X-ray Diffractometer dengan material anoda Cu untuk memeriksa kristalinitas karbon yang diperoleh. Struktur pori dan luas permukaan spesifik dikarakterisasi menggunakan adsorpsi-desorpsi nitrogen pada suhu 77°K menggunakan Quantachrome NOVAtouch 4LX.

2.4 Pembuatan elektroda

Kapasitor yang dibuat adalah jenis EDLC simetris menggunakan dua elektroda karbon aktif yang masing-masing berdimensi 1×1 cm². Karbon aktif yang digunakan masing-masing diletakkan di atas kolektor arus mesh *stainless steel* dan dipisahkan oleh pemisah membran Nafion® 212 dan disusun sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 1 berikut. Sebagai elektrolit digunakan larutan KOH 6 M terlarut dalam

etanol yang diteteskan pada sel superkapasitor sebelum dilakukan pengujian elektrokimia.



Gambar 1. Elektroda Superkapasitor Karbon Aktif Kulit Durian

2.5 Karakterisasi elektrokimia

Karakterisasi elektrokimia yang dilakukan adalah *Cyclic Voltammetry (CV)* dan *Electrochemical Impedance Spectrometry (EIS)* pada rentang frekuensi 0,01 - 10⁶ Hz menggunakan potensiostat Gamry Reference 3000. Kapasitansi spesifik dari karbon aktif dihitung menggunakan rumus berikut:

$$C_{cv} = \frac{\int idt}{(2m)\Delta v}$$

dimana C_{cv} adalah kapasitansi spesifik dari uji CV (F/g), I adalah arus spontan (A), m adalah massa dari material karbon aktif yang digunakan (g), serta Δv adalah rentang tegangan (V).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

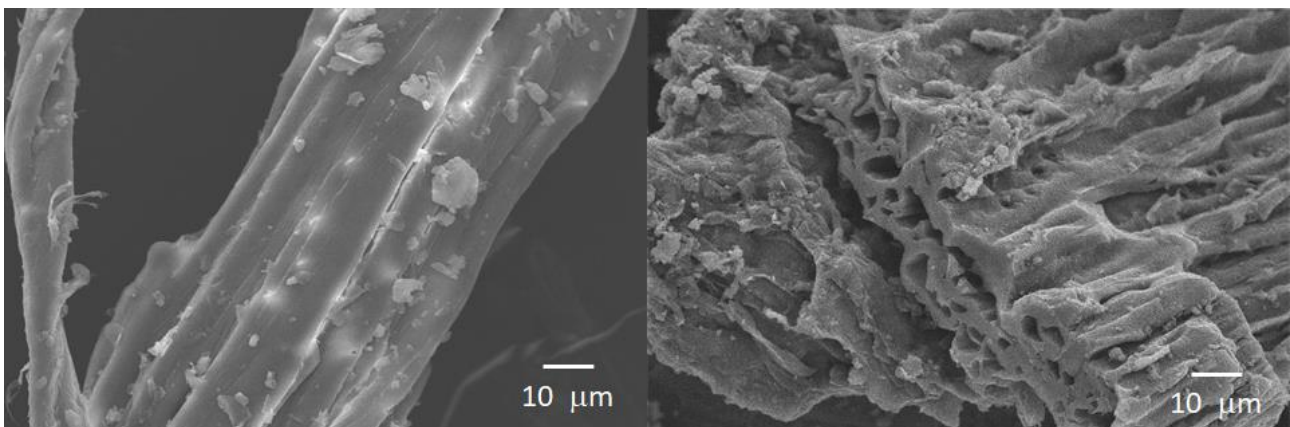
3.1 Karakterisasi Material

Perbandingan hasil pengamatan menggunakan SEM dari kulit durian sebelum dan sesudah proses karbonisasi dan aktivasi menunjukkan pembentukan struktur berpori yang dapat diamati pada Gambar 2.

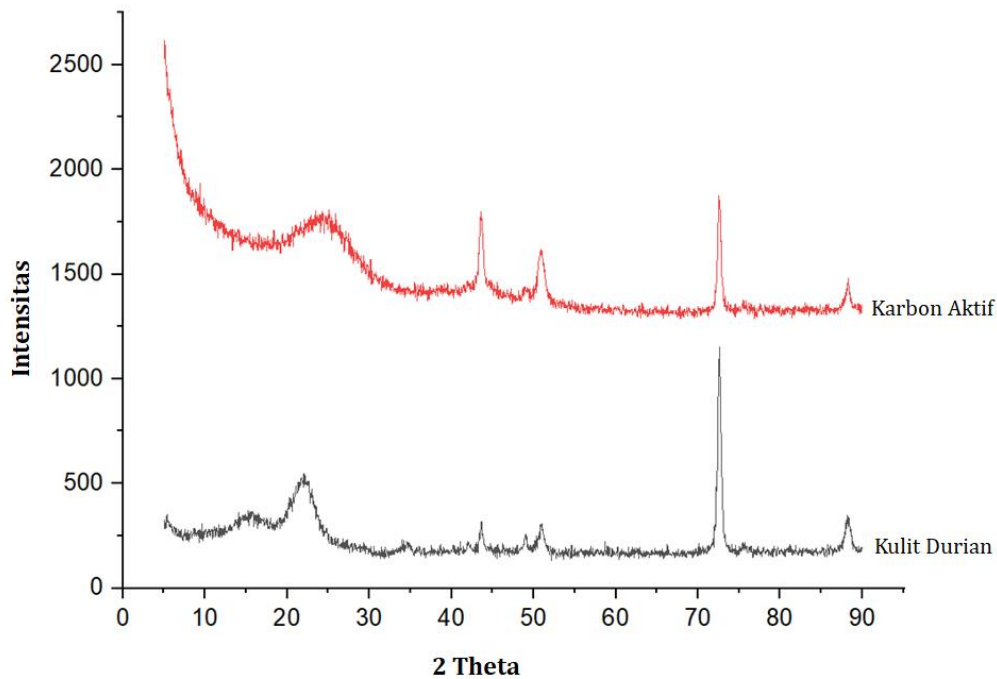
Karbon aktif yang diperoleh tetap mempertahankan struktur awal kulit durian berupa serat dengan perubahan pada pembentukan pori dan retakan di permukaan serat. Struktur pori yang diperoleh dari proses aktivasi dengan menggunakan $ZnCl_2$ tidak seragam dengan ukuran pori bervariasi. Hal ini didukung oleh hasil yang didapatkan oleh (Du dkk. 2016; Wei dkk., 2019) dengan menggunakan bahan baku yang berbeda namun menggunakan aktivator $ZnCl_2$.

Hasil pengamatan XRD pada Gambar 3 menunjukkan perubahan dari puncak yang tajam menjadi lebar pada $2\theta = 24^\circ$. Perubahan puncak dari tajam menjadi lebar pada $2\theta = 24^\circ$ menunjukkan perubahan dari struktur karbon dari kristalin menjadi amorf pada bidang [002].

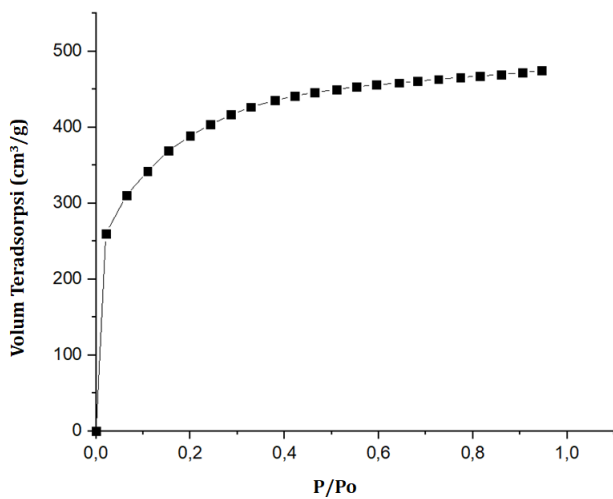
Untuk mengetahui struktur pori dari karbon aktif yang diperoleh dilakukan pengukuran dengan menggunakan adsorpsi-desorpsi gas N_2 sehingga diperoleh kurva isoterm seperti ditampilkan pada Gambar 4. Menurut klasifikasi IUPAC (Sing dkk., 1985), kurva isoterm adsorpsi-desorpsi N_2 untuk karbon aktif yang diaktivasi menggunakan $ZnCl_2$ yang diperoleh termasuk kepada Tipe I (Gambar 4) yang biasanya dihasilkan oleh material dengan struktur mikropori (<2 nm). Hal ini didukung oleh hasil penelitian oleh Du dkk. pada tahun 2016, yang menunjukkan bila konsentrasi aktivator $ZnCl_2$ yang digunakan ≤ 40 %berat maka akan diperoleh karbon aktif yang memiliki struktur mikropori. Terbentuknya struktur mikropori ini juga sesuai dengan mekanisme aktivasi karbon aktif menggunakan $ZnCl_2$ seperti yang disampaikan oleh Bansal dkk. pada tahun 1988. Ketika $ZnCl_2$ digunakan sebagai aktivator, hidrogen, dan oksigen yang terdapat pada bahan mentah akan terkonsumsi sehingga struktur mikropori akan mudah terbentuk. Berdasarkan hasil penelitian oleh Lua dan Yang pada tahun 2005, pada rasio $ZnCl_2$ terhadap bahan baku yang rendah, jumlah $ZnCl_2$ yang tersedia tidak cukup untuk menghambat pembentukan tar sehingga struktur mikropori terbentuk.



Gambar 2. Citra SEM Karbon Aktif Kulit Durian



Gambar 3. Spektra XRD Karbon Aktif Kulit Durian



Gambar 4. Kurva Isoterm Karbon Aktif Kulit Durian

Adapun hasil perhitungan luas permukaan dengan menggunakan metode BET (Brunauer dkk., 1938) serta ukuran pori menggunakan metode BJH (Barrett dkk., 1951) ditampilkan pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil pengukuran BET yang diperoleh, luas permukaan karbon setelah aktivasi adalah 1327 m²/g. Luas permukaan karbon aktif ini memenuhi kebutuhan luas permukaan aplikasi karbon aktif sebagai elektroda superkapasitor.

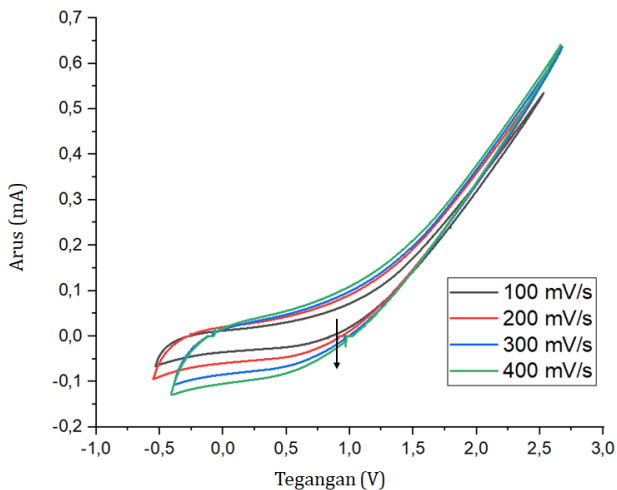
Adapun hasil perhitungan dengan metode BJH, menunjukkan sebagian besar pori yang diperoleh adalah mikropori dengan ukuran pori rata-rata sebesar 1,11 nm. Hal ini sesuai dengan perkiraan berdasarkan jenis isoterm adsorpsi pada Gambar 4 yang menunjukkan karakteristik Tipe I untuk material dengan struktur mikropori.

Tabel 1. Luas permukaan spesifik dan ukuran pori karbon aktif kulit durian

Sampel	Luas permukaan spesifik (m ² /g)	Volum pori (cm ³ /g)	Ukuran pori rata-rata (nm)	Jenis pori
Kulit durian	0,25	3,19 x 10 ⁻⁴	2,56	Mesopore
Karbon aktif	1327,24	0,736	1,11	Micropore

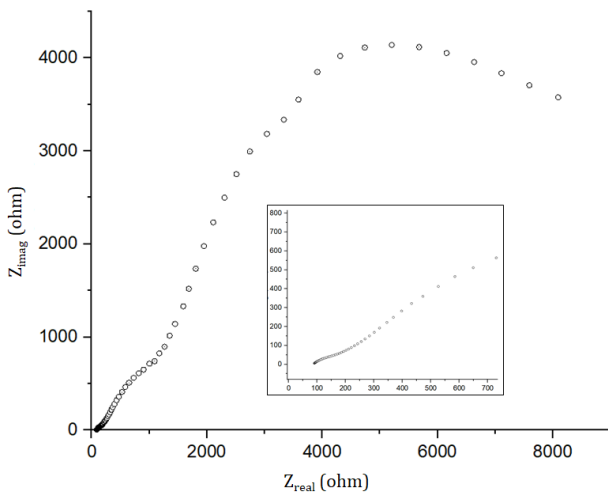
3.2 Karakterisasi Elektrokimia

Kurva CV hasil pengujian dari superkapasitor yang menggunakan elektroda karbon aktif diperoleh pada rentang 0–1,0 V seperti ditampilkan pada Gambar 5. Kurva CV yang diperoleh tidak menunjukkan bentuk persegi yang menjadi ciri khas dari kapasitor jenis EDLC melainkan bentuk rhomboid pada scan rate 100–400 mV/s. Berdasarkan literatur (Cai dkk., 2013), kurva berbentuk tajam menunjukkan adanya tahanan ohmik yang signifikan pada pori. Adapun area integral dari kurva CV yang diperoleh menunjukkan kapasitansi dari superkapasitor yang telah dibuat dengan nilai maksimum kapasitansi spesifik yang diperoleh adalah 18 mF/g pada scan rate 400 mV/s. Rendahnya nilai kapasitansi ini dapat dijelaskan akibat ukuran pori yang terlalu kecil sehingga menyulitkan elektrolit KOH yang digunakan untuk masuk ke dalam pori yang berdampak karbon aktif tidak memiliki kemampuan untuk menyimpan muatan (Du dkk., 2016).



Gambar 5. Kurva CV superkapasitor karbon aktif kulit durian

Penyebab rendahnya kapasitansi superkapasitor yang diperoleh, diselidiki lebih lanjut dengan melakukan uji EIS. Uji EIS dilakukan untuk menginvestigasi kinetika pengisian muatan dari superkapasitor karbon aktif. Plot Nyquist dari data impedansi yang diperoleh, ditunjukkan pada Gambar 6. Hasil yang diperoleh menunjukkan adanya tahanan transfer-muatan yang tinggi sehingga mengakibatkan nilai kapasitansi yang rendah. Tahanan transfer-muatan yang tinggi biasanya berkorelasi dengan ukuran pori yang terlalu kecil sehingga tidak mampu diakses oleh elektrolit KOH yang digunakan (Du dkk., 2016).



Gambar 6. Kurva EIS superkapasitor karbon aktif kulit durian

4. KESIMPULAN

Karbon aktif dari kulit durian berhasil disintesis dengan aktivasi kimia dengan $ZnCl_2$ sebagai zat pengaktif menggunakan reaktor hidrotermal. Bahan yang diperoleh dikarakterisasi dan dievaluasi untuk aplikasi sebagai elektroda superkapasitor. Sampel karbon aktif yang diperoleh memiliki struktur berpori, dengan ukuran pori beragam dan luas permukaan spesifik yang tinggi ($1327 \text{ m}^2/\text{g}$). Meskipun memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi, kapasitansi kapasitor yang dibuat menggunakan karbon aktif ini

hanya terukur sebesar 18 mF/g . Hasil ini menunjukkan bahwa luas permukaan spesifik material elektroda yang tinggi tidak selalu berarti nilai kapasitansi tinggi. Kemampuan elektrolit untuk masuk ke dalam pori diduga menjadi faktor yang mempengaruhi.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian, Pengabdian Masyarakat, dan Penjaminan Mutu, Institut Teknologi Sumatera (LP3 ITERA) atas pendanaan Hibah Mandiri ITERA yang telah diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, F.; Daud, W. M.; Ahmad, M. A. dan Radzi, R., Cocoa (*Theobroma cacao*) shell-based activated carbon by CO_2 activation in removing of Cationic dye from aqueous solution: Kinetics and equilibrium studies, *Chemical Engineering Research and Design*, 2012, 90(10), 1480-1490.
- Ahmad, M. A. dan Alrozi, R., Optimization of rambutan peel based activated carbon preparation conditions for Remazol Brilliant Blue R removal, *Chemical Engineering Journal*, 2011, 168(1), 280-285.
- Amaliyah, D. M., Pemanfaatan Limbah Kulit Durian (*Durio zibethinus*) dan Kulit Cempedak (*Artocarpus integer*) sebagai Edible Film, *Jurnal Riset Hasil Industri Hutan*, 2014, 6(1), 27-34.
- Aristo, J. P.; Yulianti, I. M. Dan Jati, W. N., Potensi Arang Aktif dari Kulit Buah Durian (*Durio zibethinus* Murr.) dengan Aktivator NaOH sebagai penjernih Air Sumur, *Biota*, 2018, 3(3), 117-124.
- Azevedo, D. C.; Araújo, J. C.; Bastos-Neto, M.; Torres, A. E.; Jaguaribe, E. F. dan Cavalcante, C. L., Microporous activated carbon prepared from coconut shells using chemical activation with zinc chloride, *Microporous and Mesoporous Materials*, 2007, 100(1), 361-364.
- Bansal, R. C.; Donnet, J. B. dan Stoecli, F., *Active Carbon*, Marcel Dekker, New York, 1988.
- Barrett, E. P.; Joyner, L. G. dan Halenda, P. P., The Determination of Pore Volume and Area Distributions in Porous Substances. I. Computations from Nitrogen Isotherms, *Journal of the American Chemical Society*, 1951, 73(1), 373-380.
- Brunauer, S.; Emmett, P. H. dan Teller, E., Adsorption of gases in multimolecular layers, *Journal of the American Chemical Society*, 1938, 60(2), 309-319.
- Cai, T.; Zhou, M.; Ren, D.; Han, G. dan Guan, S., Highly ordered mesoporous phenol-formaldehyde carbon as supercapacitor electrode material, *Journal of Power Sources*, 2013, 231, 197-202.
- Chandra, T. C.; Mirna, M. M.; Sunarso, J.; Sudaryanto, Y. dan Ismadji, S., Activated carbon from durian shell: Preparation and characterization. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2009, 40(4), 457-462.
- Du, X.; Zhao, W.; Ma, S.; Ma, M. dan Qi, T., Effect of $ZnCl_2$ impregnation concentration on the microstructure

- and electrical performance of ramie-based activated carbon hollow fiber, *Ionics*, 2016, 22(4), 545-553.
- Ji, H.; Zhao, X.; Qiao, Z.; Jung, J.; Zhu, Y.; Lu, Y. dan Ruo, R. S., Capacitance of carbon-based electrical double-layer capacitors. *Nature Communications*, 2014, 5.
- Khairiah, K. dan Destini, R., Analisis Kelistrikan Pasta Elektrolit Limbah Kulit Durian (*Durio zibethinus*) sebagai Bio Baterai. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan FKIP UNTIRTA*, Serang, 2017.
- Kusumaningtyas, R. D.; Suyitno, H. dan Wulansarie, R., Pengolahan Limbah Kulit Durian di Wilayah Gunungpati Menjadi Biopestisida yang Ramah Lingkungan, *Jurnal Teknik Kimia*, 2017, 15(1), 38-43.
- Kuzmenko, V.; Saleem, A. M.; Bhaskar, A.; Staaf, H.; Desmaris, V. dan Enoksson, P., Hierarchical Cellulose-derived Carbon Nanocomposites for Electrostatic Energy Storage, *Journal of Physics: Conference Series*, 2015, 660.
- Lua, A. C. dan Yang, T., Characteristics of activated carbon prepared from pistachio-nut shell by zinc chloride activation under nitrogen and vacuum conditions, *Journal of Colloid and Interface Science*, 2005, 505-513.
- Marlinawati, M.; Yusuf, B. dan Alimuddin, A., Pemanfaatan Arang Aktif dari Kulit Durian (*Durio zibethinus* L.) sebagai Adsorben Ion Logam Kadmium(III), *Jurnal Kimia Mulawarman*, 2015, 13(1), 23-27.
- Nuriana, W.; Anisa, N. dan Martana., Karakteristik Biobriket Kulit Durian sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan, *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 2013, 23(1), 70-76.
- Prahas, D.; Kartika, Y.; Indraswati, N. dan Ismadji, S., Activated carbon from jackfruit peel waste by H₃PO₄ chemical activation: Pore structure and surface chemistry characterization, *Chemical Engineering Journal*, 2008, 140(1), 32-42.
- Santoso, P. J., Indonesia Berpotensi Produksi Durian Sepanjang Tahun, *Agroinovasi*, Edisi 19 - 25 Desember 2012, hal. 10-16.
- Sing, K.; Everett, D. H.; Haul, R.; Moscou, L.; Pierotti, R. A.; Rouquerol, J. dan Siemieniewska, T., Reporting physisorption data for gas/solid interface with special reference to the determination of surface area and porosity, *Pure and Applied Chemistry*, 1985, 57(4), 603-619.
- Ulfia, S. M. dan Astuti, A., Sintesis Karbon Aktif dari Kulit Durian untuk Pemurnian Air Gambut, *Jurnal Fisika Unand*, 2014, 3(4), 255-261.
- Wei, Q.; Chen, Z.; Cheng, Y.; Wang, X.; Yang, X. dan Wang, Z., Preparation of electrochemical performance of orange peel based-activated carbons activated by different activators, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2019.
- Zhang, R. R.; Xu, Y. M.; Harrison, D.; Fyson, J.; Qiu, F. L. dan Southee, D., Flexible strip supercapacitors for future energy storage, *International Journal of Automation and Computing*, 2015, 12(1), 43-49.