

## Variasi Konsentrasi Elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> untuk Pembuatan Karbon Aktif Kulit Buah Kakao sebagai Elektroda Superkapasitor dengan Aktivator ZnCl<sub>2</sub>

Faula Rahmi<sup>1\*</sup>, Muldarisnur<sup>1</sup>, Yuli Yetri<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

<sup>2</sup>Politeknik Negeri Padang, Padang, Indonesia

### Info Artikel

#### Histori Artikel:

Diajukan: 15 September 2021

Direvisi: 04 Oktober 2021

Diterima: 05 Oktober 2021

#### Kata kunci:

karbon aktif  
superkapasitor  
elektrolit  
kapasitansi

#### Keywords:

activated carbon  
supercapacitor  
electrolyte  
capacitance

#### Penulis Korespondensi:

Faula Rahmi

Email: [faularahmi@gmail.com](mailto:faularahmi@gmail.com)

### ABSTRAK

Sintesis karbon aktif dari kulit buah kakao sebagai bahan dasar untuk elektroda superkapasitor telah selesai dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi elektrolit terhadap nilai kapasitansi dan konduktivitas yang dihasilkan elektroda superkapasitor kulit kakao. Proses karbonisasi dilakukan pada suhu 250 °C dan dilanjutkan dengan aktivasi kimia menggunakan ZnCl<sub>2</sub> dengan konsentrasi 0,4 M selama 2 jam. Karbon aktif selanjutnya dicetak membentuk elektroda dan direndam menggunakan elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan variasi konsentrasi 1 M, 2 M dan 3 M. Karbon aktif dari kulit kakao dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electronic Microscope* (SEM) serta *Cyclic Voltametry* (CV) dan LCR Meter untuk menentukan nilai kapasitansi dan konduktivitas. Hasil uji XRD secara umum didapatkan struktur atom berbentuk amorf. Uji SEM menunjukkan bahwa perendaman elektroda karbon aktif dengan konsentrasi elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3 M menghasilkan ukuran pori yang besar dan distribusi pori lebih merata. Nilai kapasitansi yang didapatkan berdasarkan variasi elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M, 2 M dan 3 M yaitu 0,064 µF, 2,488 µF dan 3,766 µF. dan nilai konduktivitas untuk masing-masing elektrolit pada frekuensi 1000 Hz yaitu 0,86 S/m, 10,72 S/m dan 43,58 S/m. Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi konsentrasi elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang diberikan maka nilai kapasitansi dan konduktivitas elektroda superkapasitor yang dihasilkan juga semakin besar.

*Synthesis of activated carbon from cocoa peels has been carried out as a supercapacitor electrode material. This study aimed to determine the effect of variations in electrolyte concentration on capacitance and conductivity values produced by cocoa peels supercapacitor electrode. The carbonization process was carried out at a temperature of 250 °C and continued with chemical activation using ZnCl<sub>2</sub> with concentration of 0.4 M for 2 hours. The activated carbon was then electrode printed and immersed using H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> electrolyte with various concentrations of 1 M, 2 M and 3 M. Activated carbon from cocoa shells was characterized using X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electronic Microscope (SEM) and Cyclic Voltametry (CV) and LCR Meter to determine capacitance and conductivity values. The result of XRD test generally obtained an amorphous atomic structure. The SEM test showed that the immersion of activated carbon electrodes with an electrolyte concentration of 3 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> resulted in large pore size and more even pore distribution. The capacitance values obtained are based on variations in the H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M, 2 M and 3 M electrolytes, namely 0.683 F, 7.751 F and 11.334 F and the conductivity values for each electrolyte at a frequency of 1000 Hz are 0.86 S/m, 10.72 S/m and 43.58 S/m. This proves that the higher concentration of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> electrolyte given, the greater capacitance and conductivity of supercapacitor electrode produced.*

Copyright © 2021 Author(s). All rights reserved

## I. PENDAHULUAN

Teknologi produksi dan penyimpanan energi memegang peranan penting dalam kehidupan masyarakat modern. Hal ini dikarenakan banyaknya pengembangan serta pemanfaatan sumber-sumber energi baru yang terbarukan seperti energi matahari, panas bumi dan biomassa (Agung, 2013). Ketersediaan yang tidak menentu dari sumber-sumber energi ini mendorong pengembangan berbagai jenis perangkat penyimpanan energi yang dapat menyimpan energi sebanyak-banyaknya dalam kurun waktu yang singkat. Superkapasitor merupakan lapisan rangkap listrik berupa elektroda yang dipisahkan oleh separator yang dapat menyimpan energi listrik dengan nilai kapasitansi yang dapat mencapai ribuan farad (Boyea *et al.*, 2007). Selain itu superkapasitor memiliki beberapa keunggulan, diantaranya adalah waktu hidup yang lebih lama, kerapatan daya yang besar, serta waktu pengisian yang pendek (Al-Sheikh and Moubayed, 2012).

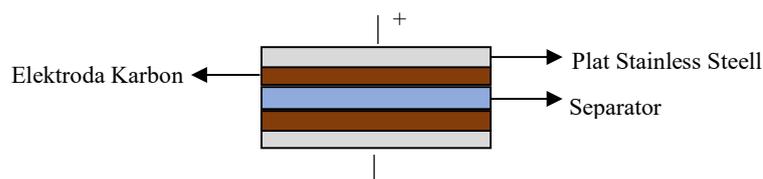
Bahan dasar elektroda yang saat ini banyak digunakan adalah karbon aktif, yaitu sekitar hampir 95 % digunakan sebagai bahan dasar elektroda superkapasitor (Jian *et al.*, 2016) dibandingkan elektroda jenis lain seperti logam pengoksida dan polimer. Beberapa keunggulan dari elektroda superkapasitor berbahan dasar karbon aktif diantaranya, konduktifitas listrik yang tinggi, luas permukaan besar (~1-2000 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>), ketahanan korosi yang baik, stabilitas suhu tinggi, struktur pori baik dan harganya relatif murah (Pandolfo and Hollenkamp, 2006). Salah satu bahan yang biasa digunakan sebagai bahan dasar elektroda adalah karbon dari kulit kakao. Kulit buah kakao memiliki kandungan hemiselulosa 21,06%, selulosa 20,15%, dan lignin 51,98%, sehingga kulit buah kakao dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan elektroda superkapasitor (Wijaya and Wiharto, 2017). Kulit buah kakao segar terdiri dari kulit buah 74%, biji 24% dan plasenta 2% (Harsini and Susilowati, 2010), sehingga kulit buah kakao merupakan limbah terbanyak dari tanaman kakao, yaitu sekitar 75% dari buah kakao segar (Wijaya and Wiharto, 2017). Sebelumnya kulit kakao juga telah dimanfaatkan sebagai adsorpsi emisi gas (Jaya *et al.*, 2014), antioksidan alami (Yuliani and Gazali, 2020), inhibitor (Sukatik, 2017), dan superkapasitor (Yuli *et al.*, 2021).

Elektrolit memegang peranan penting dalam meningkatkan nilai kapasitansi elektroda superkapasitor, dimana kapasitansi elektroda akan mengalami peningkatan seiring meningkatnya konsentrasi elektrolit yang juga dapat mempengaruhi nilai konduktivitasnya (Torchała *et al.*, 2012). Pemakaian elektrolit dengan memvariasikan konsentrasinya dirasa perlu untuk melihat performa masing-masing elektroda superkapasitor pada tiap konsentrasi elektrolit yang digunakan. Menurut Zhong *et al.* (2015) elektrolit akan menghasilkan nilai kapasitansi yang berbeda dikarenakan efek dari perbedaan ion-ion terhadap performa superkapasitor. Pada penelitian ini digunakan elektrolit asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dengan variasi konsentrasi yaitu 1 M, 2 M, dan 3 M.

## II. METODE

### 2.1 Pembuatan Sampel Elektroda Superkapasitor

Kulit kakao dikumpulkan kemudian dipotong dan dijemur selama ±9 hari untuk mengurangi kadar air dalam kulit kakao. Kulit kakao kemudian dipanaskan dalam oven pada temperatur 250 °C selama 2,5 jam. Kulit kakao yang telah dipanaskan kemudian dihancurkan dan diayak menggunakan ayakan 200 mesh. Serbuk kulit kakao yang telah halus kemudian diaktivasi menggunakan aktivator ZnCl<sub>2</sub> 0,4 M menggunakan *hot plate* dan *magnetic stirrer* pada temperatur 80 °C selama 2 jam. Setelah diaktivasi kulit kakao dicuci agar pH ~7 lalu dikeringkan di dalam oven pada temperatur 105 °C selama 24 jam. Kulit kakao yang telah menjadi arang aktif kemudian dicetak menggunakan *hydraulic press*. Pelet elektroda yang telah dicetak kemudian direndam dalam larutan elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M, 2 M dan 3 M selama 48 jam. Kemudian elektroda dirangkai menjadi sel superkapasitor dengan susunan seperti Gambar 1.



Gambar 1 Susunan Rangkaian Superkapasitor

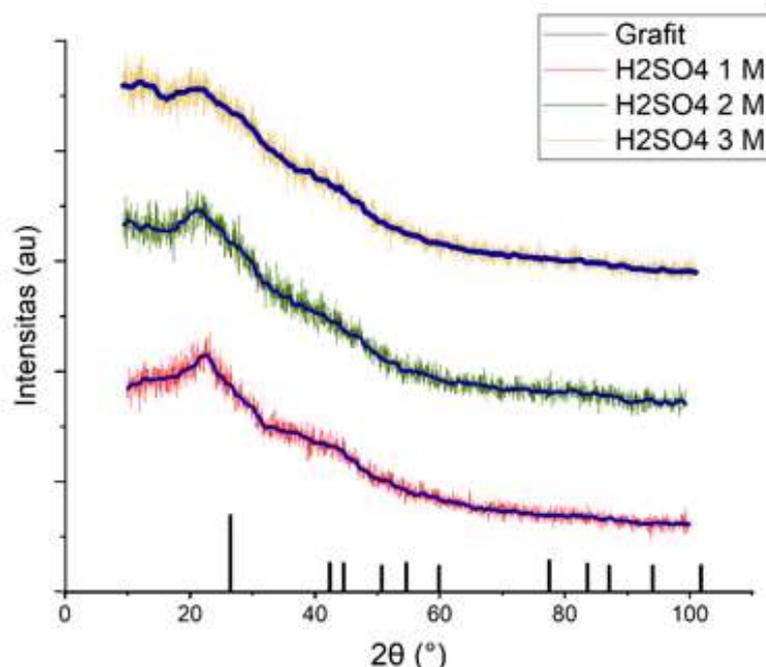
## 2.2 Karakterisasi Sampel

Sampel yang telah didapatkan kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffractometer*, *Scanning Electronic Microscope* (SEM), *Cyclic Voltammetry* (CV) dan LCR-Meter.

## III. HASIL DAN DISKUSI

### 3.1 Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD)

Karakterisasi XRD pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui ukuran kristal serta fase yang terbentuk pada karbon aktif. Data XRD dianalisis dari grafik yang didapatkan setelah karakterisasi dan diolah menggunakan software originPro.

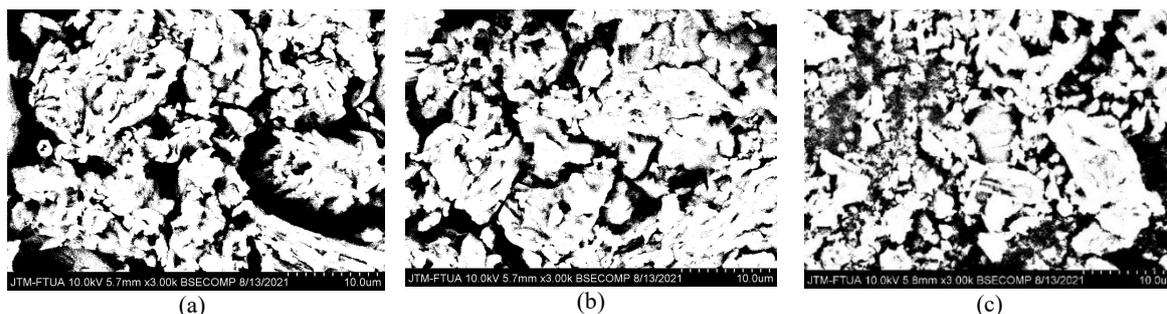


**Gambar 2** Hasil Analisa XRD pada Variasi Konsetrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M, 2 M, dan 3 M terhadap ICDD Grafit 00-056-0159

Hasil dari karakterisasi XRD yang didapatkan dapat dilihat pada gambar tersebut menunjukkan bahwa elektroda superkapasitor yang dihasilkan dari karbon aktif kulit buah kakao memiliki bentuk amorf, sehingga sulit untuk mendeteksi ukuran kristal yang terbentuk. Untuk menentukan kandungan karbon yang telah disintesis dibutuhkan data ICDD dengan kode referensi 00-056-0159. Data yang didapatkan memperlihatkan bahwa pada setiap variasi konsentrasi elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> memiliki puncak yang mirip dengan data ICDD. Namun pada variasi elektrolit 3 M grafik yang dihasilkan lebih landai. Hal ini dikarenakan pada penelitian, suhu karbonisasi yang digunakan rendah dan tidak dilakukannya aktivasi fisis.

### 3.2 Karakterisasi *Scanning Electronic Microscope* (SEM)

Karakterisasi SEM dilakukan untuk melihat morfologi permukaan elektroda karbon aktif kulit kakao yang dihasilkan setelah dilakukan perendaman dengan menggunakan variasi konsentrasi elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M, 2 M dan 3 M. Hasil uji dengan SEM pada Gambar 3 menunjukkan morfologi permukaan elektroda karbon aktif kulit kakao memiliki ukuran volume pori besar serta distribusi pori lebih merata pada perendaman dengan elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3 M jika dibandingkan dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2 M dan 1 M.



**Gambar 3** Hasil Analisa SEM Perbesaran 3000x Elektrolit  
(a) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M (b) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2 M (c) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3 M

Karbon aktif yang direndam dengan elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M memiliki permukaan pori yang besar namun sedikit dan tidak merata. Bentuk morfologi karbon yang sama juga dilaporkan oleh Tetra et al. (2018) dimana ukuran pori merata dan lebih besar. Permukaan elektroda karbon aktif yang berlubang-lubang berguna untuk adsorpsi ion dan menyimpan muatan.

### 3.3 Uji Kapasitansi Elektroda Superkapasitor

Pemberian variasi pada konsentrasi elektrolit bertujuan untuk melihat pengaruhnya terhadap nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan dengan metode Siklik Voltametri (CV). Hasil pengujian kapasitansi spesifik menunjukkan kurva yang tidak histerisis melainkan berbentuk tajam dan tidak beraturan. Hal ini dikarenakan adanya tahanan ohmik yang signifikan pada pori (Cai *et al.*, 2013) mengakibatkan kapasitansi yang dihasilkan relatif rendah.

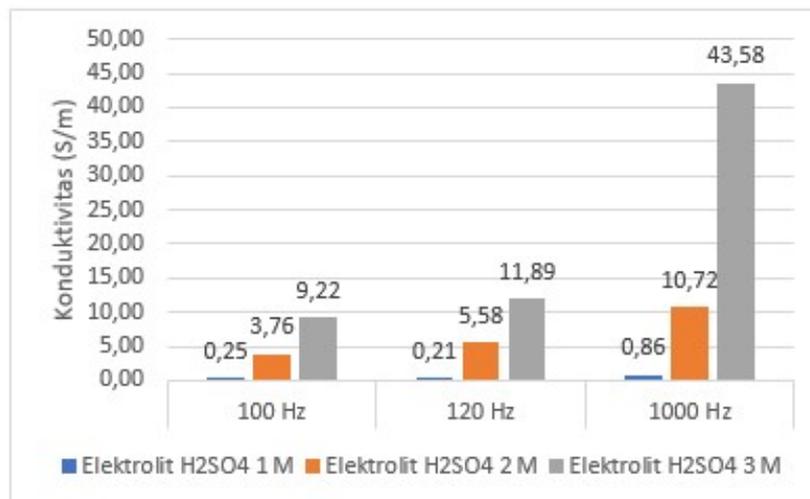
**Tabel 1** Hasil Uji Nilai Kapasitansi Elektroda Superkapasitor

Elektrolit	Arus Input (μA)	Arus Output (μA)	Scan Rate (mV/s)	Massa (g)	Kapasitansi Spesifik (μF/g)
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1 M	0,0683	-0,0452	100	0,275	0,064
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2 M	0,7751	-0,0094	100	0,325	2,488
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3 M	1,1334	0,0078	100	0,330	3,766

Dari Tabel 1 dapat dilihat hasil uji kapasitansi, bahwa nilai kapasitansi tertinggi yang didapatkan pada pemberian konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3 M yaitu 3,766 μF/g. Rendahnya nilai kapasitansi juga disebabkan ukuran pori yang terlalu kecil sehingga ion-ion dari elektrolit sulit masuk ke dalam pori. Selain itu, pada saat pengujian Siklik Voltametri, alat yang digunakan sering mengalami gangguan sehingga sering terjadi error yang menyebabkan nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan relatif rendah.

### 3.4 Uji Konduktivitas Listrik Elektroda Superkapasitor

Pemberian variasi pada konsentrasi elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> bertujuan untuk melihat pengaruhnya terhadap nilai konduktivitas listrik yang dihasilkan dengan menggunakan alat LCR-Meter. Hasil pengujian konduktivitas listrik menggunakan LCR-Meter dapat dilihat pada Gambar 4. Konduktivitas tertinggi terdapat pada konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3 M pada frekuensi 1000 Hz yaitu 43,58 S/m. Nilai konduktivitas meningkat seiring bertambahnya nilai konsentrasi elektrolit yang digunakan. Hal ini disebabkan karena perendaman elektroda karbon dengan elektrolit mempengaruhi banyaknya ion-ion konduktivitas yang terperangkap dalam pori karbon. Nilai konduktivitas karbon aktif kulit kakao pada frekuensi 100 – 1000 Hz pada penelitian ini berkisar antara 0,25 – 43,58 S/m.



**Gambar 4** Nilai Konduktivitas Listrik Elektroda Superkapasitor

Nilai konduktivitas ini terletak pada daerah nilai konduktivitas listrik yang dimiliki oleh material semikonduktor yaitu 10<sup>-8</sup> S/cm sampai 10<sup>3</sup> S/cm (Yuningsih et al., 2016). Nilai konduktivitas listrik bahan yang besar membuktikan bahwa karbon aktif dari kulit kakao dapat digunakan sebagai elektroda superkapasitor.

#### IV. KESIMPULAN

Elektroda superkapasitor dari karbon aktif kulit buah kakao yang direndam dengan elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3 M memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dengan elektroda yang direndam dengan elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M dan 2 M. Dimana terjadi peningkatan nilai kapasitansi dan konduktivitas yaitu sebesar 3,766 µF/g. dan 43,58 S/m pada konsentrasi 3 M. Selain itu, jika dilihat dari distribusi porinya, pemberian variasi pada konsentrasi elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> mempengaruhi ukuran serta distribusi pori yang dihasilkan, dimana pada konsentrasi elektrolit 3 M volume porinya lebih besar dan merata. Namun pada hasil uji kristalinitasnya, elektroda karbon yang dihasilkan memiliki bentuk amorf, hal ini dikarenakan suhu karbonisasi yang digunakan rendah dan tidak dilakukannya aktivasi fisis.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Agung, A.I. (2013), "Potensi Sumber Energi Alternatif dalam Mendukung Kelistrikan Nasional", *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, Vol. 2 No. 2.
- Al-Sheikh, H. and Moubayed, N. (2012), "An Overview of Simulation Tools for Renewable Applications in Power Systems", *International Conference on Advances in Computational Tools for Engineering Applications*, pp. 257–261.
- Boyea, J.M., Camacho., R.E., Turano., S.P. and Ready, W.J. (2007), "Carbon Nanotube-Based Supercapacitors: Technologies and Markets", *Nanotechnology Law & Bussinies*, pp. 585–593.
- Cai, T., Zhou, M., Ren, D., Han, G. and Guan, S. (2013), "Highly Ordered Mesoporous Phenol-formaldehyde Carbon as Supercapacitor Electrode Material", *Journal of Power Sources*, Elsevier B.V, Vol. 231, pp. 197–202.
- Harsini, T. and Susilowati. (2010), "Pemanfaatan Kulit Buah Kakao dari Limbah Perkebunan Kakao Sebagai Bahan Baku PULP dengan Proses Organosolv", *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, Vol. 2 No. 2, pp. 80–89.
- Jaya, F.T., Wahab, A.W. and Maming. (2014), "Adsorpsi Emisi Gas CO, NO, dan NO<sub>x</sub> Menggunakan Karbon Aktif dari Limbah Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao* L.) pada Kendaraan Bermotor Roda Empat".
- Jian, X., Liu, S., Gao, Y., Tian, W., Jiang, Z., Xiao, X., Tang, H., et al. (2016), "Carbon-based Electrode Materials for Supercapacitor: Progress, Challenges and Prospective Solutions", *J. Electr. Eng.*, Vol. 4 No. 2, pp. 75–87.

- Pandolfo, A.G. and Hollenkamp, A.F. (2006), "Carbon Properties and Their Role in Supercapacitors", *Journal of Power Sources*, Vol. 157 No. 1, pp. 11–27.
- Sukatik, Y.Y. (2017), "Green Inhibitor for Mild Steel in Acidic Solution by Using Crude Extract and Polar Extract of Theobroma cacao Peels", *Oriental Journal of Chemistry*, Oriental Scientific Publishing Company, Vol. 33 No. 4, p. 2071.
- Tetra, O.N., Aziz, H., Syukri, S., Arifin, B. and Novia, A. (2018), "Pengaruh Penambahan Karbon Aktif dari Tanah Gambut terhadap Kapasitansi Elektroda Superkapasitor Berbahan Dasar Karbon Aktif Cangkang Kelapa Sawit", *Jurnal Zarah*, Vol. 6 No. 2, pp. 47–52.
- Torchala, K., Kierzek, K. and Machnikowski, J. (2012), "Capacitance Behavior of KOH Activated Mesocarbon Microbeads in Different Aqueous Electrolytes", *Electrochimica Acta*, Elsevier Ltd, Vol. 86, pp. 260–267.
- Wijaya, M.M. and Wiharto, M. (2017), "Karakterisasi Kulit Buah Kakao untuk Karbon Aktif dan Bahan Kimia yang Ramah Lingkungan", *Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia*, Vol. 2, pp. 66–71.
- Yuli, Y., Eka, S. and Yazmendra, R. (2021), "Biomass Waste of Cocoa Skin for Basic Activated Carbon as Source of Eco-Friendly Energy Storage", *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1788, IOP Publishing, p. 12020.
- Yuliani, F. and Gazali, F. (2020), "Pemanfaatan Kulit Buah Kakao sebagai Sumber Antioksidan Alami", *Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research and Development*, Vol. 2 No. 4, pp. 119–124.
- Yuningsih, L.M., Mulyadi, D. and Jaka, A.K. (2016), "Pengaruh Aktivasi Karbon Aktif dari Tongkol Jagung dan Tempurung terhadap Nilai Konduktifitas", *Jurnal Ilmiah Sains Dan Teknologi*, Vol. 6 No. 2, pp. 531–536.
- Zhong, C., Deng, Y., Hu, W., Qiao, J., Zhang, L. and Zhang, J. (2015), "A Review of Electrolyte Materials and Compositions for Electrochemical Supercapacitors", *Chemical Society Reviews*, Royal Society of Chemistry, Vol. 44 No. 21, pp. 7484–7539.