



Study of The Variation of Activating Agents on Specific Capacitance Values on The Synthesis of Supercapacitor Electrodes Based on Pepper Peel Waste

Widodo Budi Kurniawan^{*1)}, Anisa Indriawati²⁾, Siska Oktaviani³⁾
^{1,2,3)} *Departement of Physics, University of Bangka Belitung*

e-mail: widodokurniawan1@gmail.com

Abstract

The by-product of pepper production in Bangka Belitung is the waste of pepper skin. This waste tends to be untapped and thrown away so that it can disrupt the environmental ecosystem. One of the efforts to utilize pepper skin waste is processing it into activated carbon as the base material for supercapacitor electrodes. The initial stage of the synthesis was carried out by a pre-carbonization process on a sample of dry and clean pepper peel waste. Furthermore, the sample is chemically activated using a chemical activator and also physical activation at a temperature of 700°C in N₂ gas flow conditions. The activated carbon resulting from the activation is then molded into electrode plates in the form of pellets with a diameter of 1 cm. The electrode plates were characterized using a scanning electron microscope-energy dispersive x-ray (SEM-EDX) to determine morphology and cyclic voltammetry (CV) to determine the specific capacitance value. SEM test results show that the electrode sample has porous morphology and CV results show that the sample activated using the KOH activator has a specific capacitance value of 15.20 F/g. These results indicate that the activated carbon synthesized from the waste of pepper peel can be used as a supercapacitor electrode material and also a solution for overcoming the negative effects of pepper skin waste.

Keywords: *CV, pepper peel waste, SEM-EDX.*

Kajian Variasi Jenis Aktivator terhadap Nilai Kapasitansi Spesifik pada Sintesis Elektroda Superkapasitor Berbasis Limbah Kulit Lada

Widodo Budi Kurniawan^{*1)}, Anisa Indriawati²⁾, Siska Oktaviani³⁾
^{1,2,3)} *Jurusan Fisika, Universitas Bangka Belitung*

Abstrak

Hasil samping dari produksi lada yang ada di Provinsi Bangka Belitung adalah limbah kulit lada. Limbah ini cenderung belum dimanfaatkan dan dibuang begitu saja sehingga dapat mengakibatkan terganggunya ekosistem lingkungan. Salah satu upaya pemanfaatan limbah kulit lada yaitu diolah menjadi karbon aktif sebagai material dasar elektroda superkapasitor. Tahapan awal sintesis dilakukan dengan proses pra-karbonisasi pada sampel limbah kulit lada yang telah kering dan bersih dari pengotor. Selanjutnya sampel diaktivasi secara kimia menggunakan aktivator kimia dan juga aktivasi fisika pada suhu 700°C dalam kondisi aliran gas N₂. Karbon aktif hasil aktivasi selanjutnya dicetak menjadi lempengan elektroda dalam bentuk pellet dengan diameter 1cm. Lempengan elektroda dikarakterisasi menggunakan *scanning electron microscope-energy dispersive x-ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui morfologi dan *cyclic voltammetry* (CV) untuk mengetahui nilai kapasitansi spesifiknya. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa sampel elektroda memiliki morfologi berpori dan hasil CV menunjukkan bahwa sampel yang diaktivasi menggunakan aktivator KOH memiliki nilai kapasitansi spesifik sebesar 15,20 F/g. Hasil ini menunjukkan bahwa karbon aktif yang disintesis dari limbah kulit lada dapat dijadikan sebagai material elektroda superkapasitor dan juga menjadi solusi penanggulangan dampak negatif dari limbah kulit lada.

Kata kunci: CV, limbah kulit lada, SEM-EDX.

Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik dari tahun ke tahun cenderung mengalami peningkatan. Oleh sebab itu perlu adanya pengembangan suatu piranti penyimpan energi listrik yang memiliki siklus hidup yang panjang dan waktu pengisian (*charging*) yang relatif singkat. Salah satu peranti yang memenuhi persyaratan tersebut adalah superkapasitor (Rosalina *et al.*, 2017). Hakekatnya, superkapasitor memiliki prinsip dasar seperti halnya baterai, yang terdiri dari komponen elektroda pengumpul arus, separator dan elektrolit (Fang *et al.*, 2010). Dari ketiga komponen tersebut, komponen elektroda merupakan bagian yang memegang peran penting dalam sistem penyimpanan energi listrik pada saat terjadinya proses *charging* (Arif *et al.*, 2015).

Material elektroda yang beberapa tahun terakhir relatif dikembangkan adalah material elektroda dari karbon aktif biomassa. Hal ini dikarenakan ketersediaannya yang melimpah, *renewable resources*, dan *low cost* (Hao *et al.*, 2013). Beberapa material biomassa yang telah dikaji sebagai material elektroda yaitu kulit durian (Kurniawan *et al.*, 2018), kulit kacang

(Xiao *et al.*, 2018), bunga bakung (Syarif & Pardede, 2014), kulit jeruk (Arie *et al.*, 2016), *water chestnut* (Zulkifli *et al.*, 2018).

Provinsi Kepulauan Bangka Belitung merupakan suatu propinsi yang terkenal dengan tambang timahnya. Selain di bidang pertambangan, ternyata Provinsi Bangka Belitung juga memiliki suatu komoditas ekspor yang sudah mendunia sejak zaman penjajahan yaitu lada putih muntok (*Muntok White Pepper*). Sistem pengolahan produksi lada yang dilakukan oleh masyarakat Babel masih menggunakan cara tradisional yaitu melalui mekanisme perendaman, sehingga pada akhir proses perendaman akan dihasilkan suatu residu berupa kulit lada yang belum dimanfaatkan dan dikaji secara mendalam terutama potensinya sebagai material karbon yang berasal dari limbah biomassa.

Salah satu upaya pemanfaatan limbah kulit lada yaitu diolah menjadi karbon aktif yang dapat dijadikan sebagai material dasar elektroda superkapasitor. Penelitian karbon aktif biomassa sebagai material elektroda superkapasitor dalam beberapa tahun terakhir relatif dikembangkan dikarenakan ketersediaannya yang melimpah. Syarif & Pardede (2014)

mengkaji material elektroda dari karbon aktif *water hyacinth (Eichhornia crassipes)* dengan nilai kapasitansi spesifik sebesar 0,26 F/g.

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan, sebagaimana yang telah dilaporkan sebelumnya mengenai potensi limbah kulit lada sebagai elektroda superkapasitor (Kurniawan *et al.*, 2019). Pada penelitian tersebut, didapatkan hasil bahwa limbah kulit lada memiliki potensi untuk dijadikan sebagai kandidat elektroda superkapasitor. Meskipun potensinya tergolong masih rendah yaitu nilai kapasitansi spesifik (C_{sp}) yang berkaitan dengan penyimpanan energi sebesar 0,45 F/g. Oleh sebab itu, perlu adanya upaya untuk meningkatkan nilai kapastansi yang berkaitan dengan kemampuan penyimpanan energi. Salah satu faktor yang menyebabkan masih rendahnya nilai kapasitansi yang dihasilkan dikarenakan luas permukaan spesifik dan porositasnya masih rendah (Tetra *et al.*, 2018), sehingga perlu adanya kajian lebih lanjut untuk meningkatkan luas permukaan dan porositas. Selain faktor tersebut, metode sintesis juga sangat berperan penting pada nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan. Peningkatan luas permukaan dan porositas dapat dilakukan melalui beberapa cara, salah satunya dengan penggunaan aktivator yang digunakan ketika melakukan sintesis material elektroda superkapasitor (Kurniawan *et al.*, 2018). Oleh sebab itu, pada penelitian kali ini akan mengkaji mengenai pengaruh jenis aktivator terhadap performa elektroda superkapasitor berbahan karbon aktif kulit lada dengan penambahan proses pra-karbonisasi pada saat awal sintesis.

Metode Penelitian

Alat dan bahan

Alat ukur yang digunakan pada penelitian ini yaitu SEM-EDX dan CV, sedangkan bahan yang digunakan berupa aquades, aktivator kimia untuk masing-masing kode sampel yaitu sampel A (NaOH), sampel B (KOH), dan sampel C (ZnCl₂), kertas saring dan limbah kulit lada.

Prosedur Penelitian

1. Pembuatan Arang Aktif dari Kulit Lada

Pembuatan arang aktif dari kulit lada dilakukan mengacu pada metode penelitian

(Kurniawan *et al.*, 2019) dengan adanya penambahan perlakuan pra-karbonisasi. Langkah pertama yang dilakukan adalah menyiapkan limbah kulit lada yang diperoleh dari residu pengolahan lada yang ada di sekitaran daerah kepulauan Babel. Limbah kulit lada selanjutnya dicuci hingga bersih untuk menghilangkan pengotor dan kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari hingga kering, setelah kering kulit lada dimasukkan dalam suatu wadah tertutup dan dilakukan pra-karbonisasi menggunakan oven pada suhu 150°C selama 2 jam, kemudian digerus dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Selanjutnya karbon kulit lada dimasukkan ke dalam wadah lalu direndam dengan larutan aktivator (NaOH, KOH dan ZnCl₂) dengan perbandingan volume aktivator: massa karbon adalah 5:1. Campuran tersebut selanjutnya diaduk menggunakan *magnetic stirrer* hingga homogen. Kemudian campuran didiamkan selama 48 jam. Selanjutnya, karbon yang telah didiamkan selama 48 jam dilakukan pencucian hingga pH netral (pH=7) dan dilanjutkan pencucian dengan aquades serta disaring menggunakan corong Buchner. Karbon hasil penyaring kemudian diaktivasi secara fisika dengan pada 700 menggunakan furnace yang dialiri gas N₂ dengan laju kenaikan temperatur 100°C/jam dan dilanjutkan penahanan temperatur selama 3 jam untuk masing-masing variasi. Setelah itu dilakukan penurunan temperature secara alamiah. Karbon aktif yang dihasilkan selanjutnya dicetak menggunakan perekat PVA untuk dilakukan pengujian sifat elektrokimianya menggunakan *cyclic voltametry (CV)*.

2. Karakterisasi Sampel Karbon Aktif

Karakterisasi morfologi dan kandungan unsur dari sampel karbon aktif yang telah diaktivasi dilakukan menggunakan SEM-EDX

3. Pembuatan Elektroda Superkapasitor

Pembuatan elektroda superkapasitor dalam bentuk pellet yaitu dengan cara mencampurkan karbon aktif dengan perekat berupa PVA sebanyak 2% dari massa karbon aktif. Selanjutnya karbon aktif yang telah tercampur dengan PVA dicetak dengan ukuran diameter 1 cm dan ditekan dengan pembebanan sebesar 4 ton dan ditahan selama 2 menit. Hasil cetakan kemudian direndam

dalam larutan elektrolit H₂SO₄ minimal selama 1 hari, setelah itu elektroda siap untuk diuji kestabilan dan nilai kapasitansinya.

4. Analisis Elektroda Superkapasitor

Untuk mengetahui besarnya nilai kapasitansi spesifik dilakukan dengan menggunakan data *cyclic voltametri* (CV). Besarnya nilai kapasitansi spesifik hasil dari uji CV yang dilakukan pada sampel dapat dihitung menggunakan persamaan yang mengacu pada penelitian (Zulkifli *et al.*, 2018), yaitumenggunakan persamaan (1).

$$C_s = \frac{I_c - I_d}{s \cdot m} \quad (1)$$

dengan: C_{sp} adalah kapasitansi spesifik elektroda (F/g), I_c adalah arus *charge* (A), I_d adalah arus *discharge* (A), s adalah *scan rate* (V/s) dan m adalah massa elektroda (g).

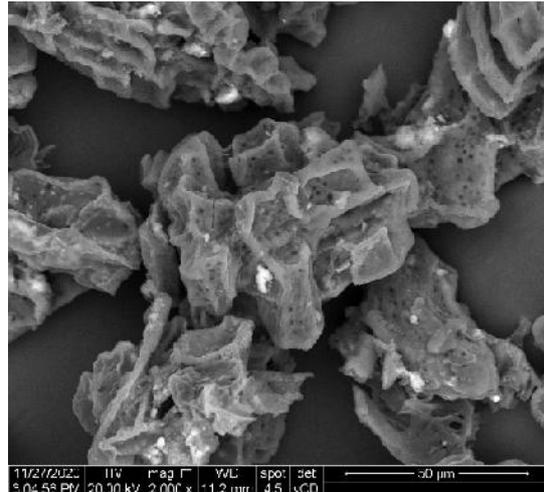
Hasil dan Pembahasan

Pembuatan elektroda superkapasitor berbasis karbon aktif biomassa limbah kulit lada hasil samping dari produksi lada di kepulauan Bangka Belitung dilakukan dengan tahapan pra-karbonisasi, aktivasi secara kimia dan dilanjutkan dengan aktivasi secara fisika. Karbon aktif yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi untuk menggunakan SEM-EDX untuk mengetahui karakteristik morfologinya dan juga menggunakan uji CV untuk mengetahui nilai kapasitansi spesifiknya.

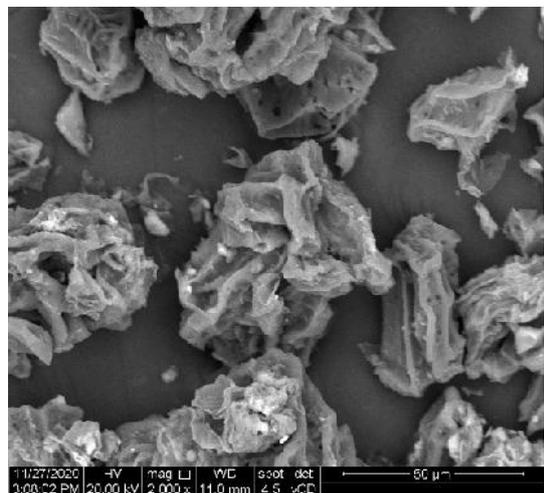
1. Morfologi Sampel Karbon Aktif

Karbon aktif yang telah dibersihkan selanjutnya diaktivasi menggunakan agen aktivasi KOH, NaOH, ZnCl₂ dan dilanjutkan dengan aktivasi secara fisika pada suhu 700 °C dengan kenaikan 100 °C /jam dalam aliran gas N₂ serta waktu penahanan selama 3 jam.

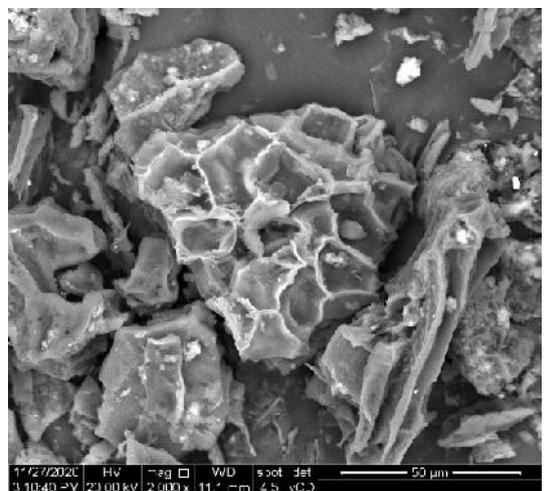
Karbon aktif hasil aktivasi tersebut selanjutnya dikarakterisasi menggunakan SEM-EDS untuk mengetahui morfologi dan kandungan unsur yang ada. Hasil citra SEM dari sampel karbon aktif untuk masing-masing aktivator sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, 2, dan 3.



Gambar 1. Sampel karbon aktif dengan aktivator NaOH



Gambar 2. Sampel karbon aktif dengan aktivator KOH



Gambar 3. Sampel karbon aktif dengan aktivator ZnCl₂

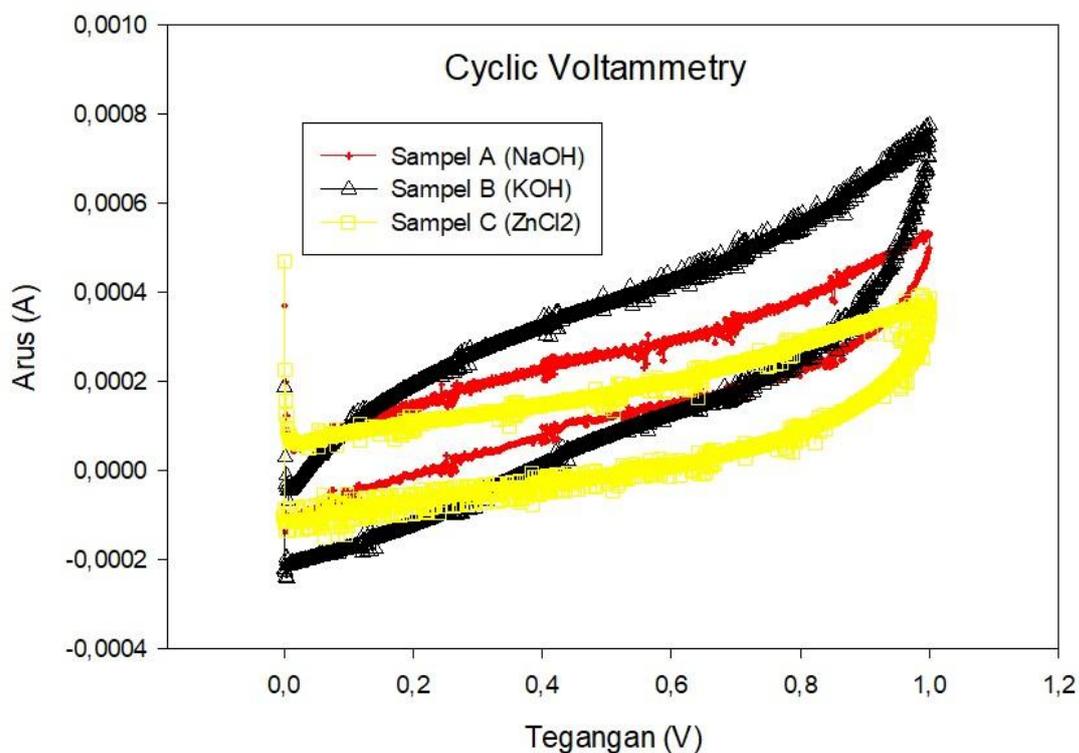
Berdasarkan hasil citra SEM menunjukkan bahwa sampel karbon aktif dari limbah kulit lada memiliki karakteristik berpori. Pola pori yang dibentuk untuk ketiga aktivator tersebut cenderung memiliki kesamaan yaitu cenderung bulat-bulat kecil. Untuk aktivator NaOH jumlah pori yang terbentuk untuk perbesaran 2000 kali cenderung lebih banyak dibandingkan untuk sampel yang diaktivasi menggunakan KOH dan $ZnCl_2$. Hal ini dikarenakan sampel karbon aktif yang diaktivasi menggunakan NaOH cenderung telah terdekomposisi. Material berpori ini

menjadi salah satu syarat sebagai material elektroda superkapasitor.

Hasil kandungan karbon untuk masing-masing sampel karbon aktif ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan pada tabel tersebut, kandungan karbon yang tertinggi diperoleh pada sampel yang diaktivasi menggunakan aktivator $ZnCl_2$ yaitu sebesar 84,66 At%, sedangkan kandungan karbon terendah terjadi pada sampel yang diaktivasi menggunakan NaOH yaitu sebesar 81,95 At%. Semakin tinggi kandungan karbon maka semakin kecil kandungan oksigennya.

Tabel 1. Hasil uji EDS untuk sampel karbon aktif dengan aktivator NaOH, KOH, dan $ZnCl_2$

Unsur	Sampel A		Sampel B		Sampel C	
	Wt%	At%	Wt%	At%	Wt%	At%
CK	74.96	81.95	74.56	82.47	74.64	84.66
OK	18.61	15.28	16.72	13.89	09.45	08.05
MgK	01.07	00.58	01.72	00.94	01.51	00.84
AlK	01.45	00.71	01.32	00.65	06.30	03.18
SiK	01.52	00.71	01.24	00.59	03.52	01.71
CaK	02.39	00.78	04.44	01.47	04.58	01.56



Gambar 4. Hasil uji CV untuk ketiga jenis aktivator.

Tabel 2. Hasil CV untuk masing-masing jenis aktivator

Sampel	I _c (A)	I _d (A)	S (V/s)	M (g)	C _{SP} (F/g)
A	0,000259	0,000117	0,001	0,0196	7,47
B	0,000373	0,000075	0,001	0,0196	15,20
C	0,000167	-0,000029	0,001	0,0193	10,16

2. Uji Cyclic Voltammetry

Uji *cyclic voltammetry* (CV) bertujuan untuk mengetahui nilai kapasitansi spesifik dari elektroda superkapasitor berbahan karbon aktif dari limbah kulit lada. Nilai kapasitansi spesifik berkaitan erat dengan kemampuan elektroda dalam menyimpan muatan listrik.

Hasil uji CV dalam bentuk grafik voltamogram sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan hasil pada gambar tersebut, pola grafik voltamogram yang dihasilkan cenderung membentuk pola yang menyerupai empat persegi panjang yang mencirikan pola CV untuk material yang terbuat dari karbon (Tumimomor *et al.*, 2017).

Agen aktivasi (aktivator kimia) yang digunakan akan mempengaruhi siklus *charge* dan *discharge* yang terjadi pada saat pengujian menggunakan CV. Semakin besar bentuk kurva empat persegi panjang yang dihasilkan maka nilai kapasitansi spesifiknya juga semakin membesar (Farma *et al.*, 2018). Nilai kapasitansi spesifik tertinggi dihasilkan oleh sampel yang diaktivasi menggunakan aktivator KOH yaitu 15,20 F/g dan yang terendah terjadi pada sampel yang diaktivasi menggunakan aktivator NaOH yaitu sebesar 7,47 F/g. Hasil yang didapatkan ini jauh lebih besar beberapa puluh kali lipat dibandingkan dari hasil penelitian–penelitian sebelumnya yaitu sebesar 0,45 F/g dengan aktivator HCl dan tanpa adanya perlakuan pra-karbonisasi (Kurniawan *et al.*, 2019), 18 mF/g untuk jenis karbon aktif dari kulit durian dengan aktivator ZnCl₂ (Febriyanto *et al.*, 2019). Menurut (Tetra *et al.*, 2018), metode aktivasi, jenis aktivator dan elektrolit yang digunakan akan mempengaruhi luas permukaan yang dihasilkan dan juga besarnya nilai kapasitansi spesifik dari elektroda superkapasitor berbasis karbon aktif. Besarnya nilai kapasitansi spesifik untuk

masing-masing jenis aktivator yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan bahwa variasi jenis aktivator kimia yang digunakan pada sintesis elektroda superkapasitor berbasis limbah kulit lada mempengaruhi nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan. Dari tiga jenis aktivator yang digunakan yaitu KOH, NaOH dan ZnCl₂ didapatkan nilai kapasitansi spesifik sebesar masing 15,20 F/g, 7,47 F/g dan 10,16 F/g secara berturut-turut. Nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan pada penelitian ini telah memenuhi syarat sebagai material elektroda superkapasitor.

Penghargaan

Ucapan terimakasih kepada pihak kementerian ristekdikti yang telah memberikan dana hibah penelitian melalui program hibah penelitian dosen pemula (PDP) tahun pelaksanaan 2020.

Daftar Pustaka

- Arie, A. A., Kristianto, H., Halim, M., & Lee, J. K. (2016). Synthesis and modification of activated carbon originated from Indonesian local Orange peel for lithium ion Capacitor's cathode. *Journal of Solid State Electrochemistry*. <https://doi.org/10.1007/s10008-016-3445-7>.
- Arif, E. N., Taer, E., & Farma, R. (2015). Pembuatan dan karakterisasi sel super kapasitor menggunakan karbon aktif monolit dari kayu karet berdasarkan variasi konsentrasi HNO₃. *JOM FIMIPA*,

- 2(1), 49–55.
- Fang, L. I., Junjun, S. H. I., & Xue, Q. I. N. (2010). *Synthesis and supercapacitor characteristics of PANI/ CNTs composites*. 55(11), 1100–1106. <https://doi.org/10.1007/s11434-009-0573-9>.
- Farma, R., Vivi, M., Sugiyanto, S., Awitdrus, A., Taer, E., & Yanuar, H. (2018). Cyclic Voltammetry Sel Supercapacitor Dengan Variasi Konsentrasi Aktivator Kalium Hidroksida. *Jurnal Fisika Indonesia*, 21(2), 20. <https://doi.org/10.22146/jfi.42203>
- Febriyanto, P., Jerry, J., Satria, A. W., & Devianto, H. (2019). Pembuatan Dan Karakterisasi Karbon Aktif Berbahan Baku Limbah Kulit Durian Sebagai Elektroda Supercapacitor. *Jurnal Integrasi Proses*, 8(1), 19. <https://doi.org/10.36055/jip.v8i1.5439>.
- Hao, L., Li, X., & Zhi, L. (2013). Carbonaceous electrode materials for supercapacitors. *Advanced Materials*, 25(28), 3899–3904. <https://doi.org/10.1002/adma.201301204>
- Kurniawan, P., Taer, E., Malik, U., & Taslim, R. (2018). Pengaruh konsentrasi KOH terhadap sifat fisis dan elektrokimia elektroda karbon dari limbah kulit durian sebagai sel superkonduktor. *Jurnal Komunikasi Fisika Indonesia*, 15(01), 85–92.
- Kurniawan, W. B., Indriawati, A., Marina, D., & Taer, E. (2019). The Potential of Pepper Shell (*Piper Nigrum*) for Supercapacitor Electrodes. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia Al-Biruni*, 08(April), 109–116. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v8i1.3780>.
- Kurniawan, W., Indriawati, A., & Marina, D. (2019). The Effect of Particle Size on the Performance of Electrode Supercapacitor based on Pepper (*Piper Nigrum*) Shell Activated Carbon. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 353(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/353/1/012041>.
- Rosalina, Suprihatin, & Karo, P. K. (2017). Pengaruh Luas Permukaan Spesifik terhadap Kapasitansi Spesifik Elektrode Zeolit Akibat Variasi Suhu Kalsinasi. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 5(1), 37–42.
- Syarif, N., & Pardede, M. C. (2014). Hydrothermal Assisted Microwave Pyrolysis of Water Hyacinth for Electrochemical Capacitors Electrodes. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, 5(2), 95–104.
- Tetra, O. N., Aziz, H., Ibrahim, S., Alif, A., Kimia, J., Matematika, F., Ilmu, D., Alam, P., & Andalas, U. (2018). *Review : Supercapacitor berbahan dasar karbon aktif dan larutan ionik sebagai elektrolit. Riview: Supercapacitor based on activated carbon and ionic solution as electrolyte*. 6(1), 39–46.
- Tumimomor, F., Maddu, A., & Pari, G. (2017). Pemanfaatan Karbon Aktif Dari Bambu Sebagai Elektroda Supercapacitor. *Jurnal Ilmiah Sains*, 17(1), 73. <https://doi.org/10.35799/jis.17.1.2017.15802>.
- Xiao, Z., Chen, W., Liu, K., Cui, P., & Zhan, D. (2018). *Porous Biomass Carbon Derived from Peanut Shells as Electrode Materials with Enhanced Electrochemical Performance for Supercapacitors*. 13, 5370–5381. <https://doi.org/10.20964/2018.06.54>.
- Zulkifli, Awitdrus, & Taer, E. (2018). Studi Awal Pemanfaatan Purun Tikus Sebagai Elektroda Supercapacitor Menggunakan Aktivasi Uap Air The Preliminary Study of Utilization of Water Chestnut as Supercapacitor Electrode Using Steam Activation. *J.Aceh Phys.Soc*, 7(1), 30–34.