

Efek suhu karbonisasi terhadap elektroda superkapasitor dari biomassa pelepah nipah

Effect of carbonized temperature to supercapacitor electrode from palm midrib biomass

Rakhmawati Farma*, Melda Oktaviandari, dan Vepy Asyana

Received 7 September 2020
Accepted 17 September 2020
Published January 2021

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
Riau Pekanbaru, 28293, Indonesia

Abstrak. Elektroda merupakan salah satu komponen yang dapat meningkatkan kinerja sel superkapasitor. Pada penelitian ini elektroda karbon berasal dari limbah biomassa pelepah nipah. Persiapan awal dimulai dari proses prakarbonisasi pada suhu 200°C dan selanjutnya diaktivasi secara kimia menggunakan KOH sebagai aktivator dengan konsentrasi 1M. Serbuk karbon aktif diubah menjadi bentuk monolit menggunakan *Hydrolic press* dan kemudian diikuti oleh proses karbonisasi pada suhu 650, 700 dan 750°C, kemudian diaktivasi fisika dengan mengalirkan gas CO₂ pada suhu 900°C. Karakterisasi sifat fisis elektroda karbon menunjukkan bahwa densitas sampel PN650 yang dikarbonisasi pada suhu 650°C memiliki nilai densitas paling rendah. Karakterisasi struktur mikro menunjukkan bahwa elektroda karbon memiliki struktur semikristalin yang ditandai dengan kehadiran puncak (002) dan (100) pada sudut 2 θ sekitar 24° dan 43°. Hasil karakterisasi struktur mikro juga menunjukkan bahwa sampel PN650 memiliki nilai Lc tertinggi yaitu sebesar 7,947 nm. Analisa sifat elektrokimia menunjukkan bahwa sampel PN650 mempunyai nilai kapasitansi terbesar yaitu 223,55 F/g. Dapat disimpulkan bahwa suhu 650°C merupakan suhu terbaik dalam proses pembuatan elektroda karbon dari pelepah nipah untuk diaplikasikan sebagai elektroda sel superkapasitor.

Abstract. The electrode is one of the components that can increase the supercapacitor cell performance. In this research, the carbon electrode derives from waste of palm midrib biomass. Initial preparation was started from the pre carbonization process at 200°C and then was chemically activated using KOH as an activator with a concentration of 1M. The activated carbon powder was converted into a monolith form using a hydraulic press and then was followed by carbonization process at 650, 700 and 750°C, then physical activation by flowing CO₂ at 900°C. Characterization of the physical properties of the carbon electrode showed that the density of the PN650 sample carbonized at 650°C had the lowest density value. Microstructure characterization indicated that the carbon electrode had a semi crystalline structure, it was characterized by the presence of peaks (002) and (100) at an angle of 2 θ around 24° and 43°. The results of the microstructure characterization also showed that the PN650 sample had the highest Lc value of 7.947 nm. Analysis of electrochemical properties showed that the PN650 sample had the largest capacitance value of 223.55 F/g. It can be concluded that 650°C was the best temperature in the process of making carbon electrodes from palm leaf midrib to be applied as supercapacitor cell electrodes.

Keywords: Ketaping, Activated Carbon, Supercapacitor, Activator, Capacitance.

Pendahuluan

Pemenuhan kebutuhan energi masih tetap menjadi salah satu tantangan yang harus dihadapi dan membutuhkan solusi untuk mengatasi berbagai masalah yang ditimbulkan (Wang et al, 2012). Sumber energi menjadi kebutuhan pokok di Indonesia, karena teknologi yang semakin berkembang pesat, maka masalah yang muncul adalah perlunya piranti penyimpanan energi. Penggunaan baterai sebagai media penyimpanan energi dinilai kurang efisien, karena memiliki beberapa kelemahan yaitu rapat daya yang kecil dan juga membutuhkan waktu yang lama untuk menyimpan energi listrik (Kotz et al, 2000). Kebutuhan energi saat ini masih bergantung pada energi fosil (Wang, 2019). Menurut BPPT (2014), penggunaan energi sangat penting bagi kelangsungan hidup manusia, karena seluruh kegiatan manusia membutuhkan energi seperti produksi industri, transportasi, hingga kegiatan rumah tangga. Krisis energi dapat ditanggulangi dengan menyediakan piranti penyimpanan energi. Piranti penyimpanan energi adalah suatu alat yang digunakan untuk menyimpan energi yang suatu saat dapat digunakan

pada waktu tertentu. Terdapat beberapa piranti penyimpanan energi yaitu baterai, kapasitor, *fuel cell* dan superkapasitor. Pembuatan elektroda superkapasitor saat ini banyak dikembangkan dari material-material diantaranya karbon *nanotube* (Niu et al, 1997), karbon aerogal (Kim et al, 2012) dan karbon aktif (Gamby et al, 2001). Karbon aktif adalah material yang paling banyak digunakan sebagai elektroda superkapasitor karena penyediaanya sangat luas, harganya murah dan metode preparasi yang lebih mudah dibandingkan dengan karbon lainnya (Ong et al, 2012). Elektroda karbon aktif dapat dibuat dengan berbagai biomassa. Pada penelitian ini biomassa yang digunakan berasal dari pelepah nipah. Nipah (*Nypa Fruticans*) yang diperoleh melalui proses prakarbonisasi, aktivasi kimia dan proses karbonisasi serta aktivasi fisika.

Metodologi

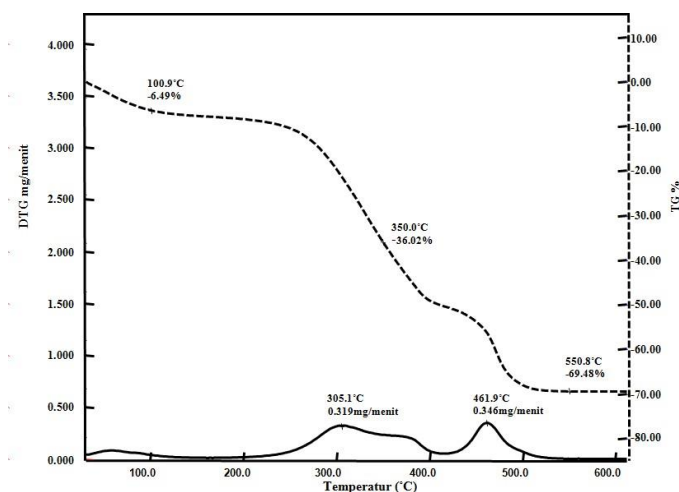
Pembuatan sel superkapasitor dari limbah pelepah nipah dilakukan melalui proses prakarbonisasi menggunakan suhu 200°C selama 1 jam dan proses penghalusan sampel

dengan menggunakan *ballmilling*. Proses selanjutnya yaitu aktivasi kimia menggunakan aktivator Kalium Hidroksida (KOH) dengan konsentrasi 1M. Proses karbonisasi yang ditahan selama 1 jam pada suhu 650, 700 dan 750°C yang diberi kode sampel PN650, PN700 dan PN750 yang dialiri dengan gas N₂ serta aktivasi fisika dengan mengalirkan gas CO₂ pada suhu 900°C. karakterisasi sifat fisis elektroda karbon menggunakan termogravimetri analisis (TGA), difraksi sinar-X dan karakterisasi sifat elektrokimia menggunakan metode *Cyclic Voltametry* (CV) untuk menentukan kapasitansi spesifik sel superkapasitor.

Hasil Penelitian

Termogravimetri Analysis (TGA)

TGA dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perubahan massa sampel pelepah nipah akibat dari perubahan temperatur yang diberikan. Terdapat dua kurva yang terbentuk pada Gambar 1, yaitu kurva garis putus-putus atau disebut kurva TG. Kurva TG mengalami tiga kali penyusutan, penyusutan pertama terjadi pada suhu 100,9°C dengan persentase susut massa 6,49%, penyusutan kedua terjadi pada suhu 350,0°C dengan persentase susut massa 29,53% pada penyusutan ini hemiselulosa, selulosa dan lignin terurai secara bersamaan. Penyusutan ketiga terjadi pada suhu 550,8°C dengan persentase susut massa 26,97%.



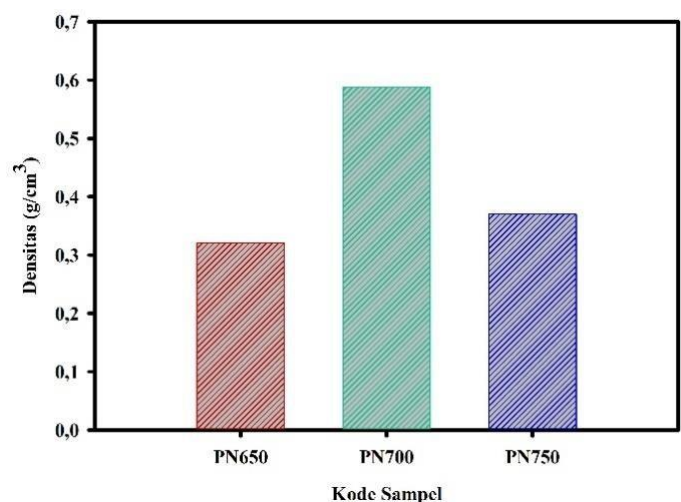
Gambar 1 Thermogravimetri Analysis

Kurva kedua yang ditunjukkan dengan garis *solid* atau disebut kurva TG. Terdapat dua puncak pada kurva TG, puncak pertama menunjukkan bahwa kelajuan maksimum penyusutan massa sampel terjadi pada suhu 305,1°C dengan kecepatan penguraian 0,319 mg/menit. Pada suhu tersebut terjadi penguraian hemiselulosa, selulosa dan lignin secara bersamaan. Puncak kedua terjadi pada suhu 416,9°C dengan kecepatan penguraian 0,346 mg/menit, senyawa selulosa dan lignin terurai secara bersamaan. Data yang didapat menyimpulkan

suhu 305,1°C sebagai suhu tahanan termal untuk sampel pelepah nipah yang digunakan untuk proses karbonisasi dan aktivasi fisika. Senyawa-senyawa tersebut diantaranya terdiri dari hemiselulosa, selulosa dan lignin, masing-masing terurai dengan suhu berbeda-beda (Brebui et al, 2010).

Densitas Elektroda Karbon

Hasil densitas elektroda karbon yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 2. Gambar tersebut menunjukkan penyusutan densitas pada sampel PN650, PN700 dan PN750 setelah proses karbonisasi dan aktivasi fisika dengan memiliki nilai sebesar 0,3206 g/cm³, 0,5881 g/cm³ dan 0,3701 g/cm³ secara berurutan. PN-650 memiliki nilai densitas terendah, dapat dikatakan bahwa pada suhu 650°C merupakan suhu pemanasan terbaik dikarenakan paling banyak menghilangkan unsur-unsur selain karbon hingga terjadi penyusutan dan membentuk pori pada karbon. Proses karbonisasi dapat menghilangkan komponen pengotor seperti kadar air dan dapat meningkatkan keteraturan struktur karbon serta kadar karbon, sedangkan proses aktivasi fisika sebagai pembentuk pori baru dan perluasan pori yang telah ada melalui penguapan gas CO₂ yang menyebabkan pori akan terbuka (Hayashi et al, 2002, Leofanti et al, 1998).

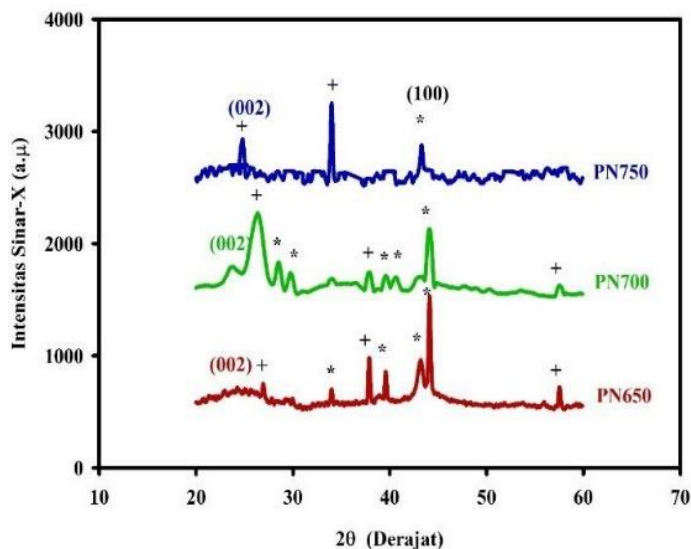


Gambar 2 Densitas elektroda karbon pelepah nipah

Analisis Difraksi Sinar-X

Analisis difraksi sinar-X merupakan analisis untuk menentukan struktur mikro dari sampel. Analisa XRD merupakan suatu metode yang digunakan untuk menentukan struktur suatu bahan yang bersifat amorf atau kristal. Hasil karakterisasi ini untuk sampel PN650, PN750 dan PN750 dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar tersebut menunjukkan bahwa pola difraksi sinar-X yang dihasilkan berbentuk struktur semikristalin dengan kehadiran puncak pada sudut 2θ sekitar 24° untuk orientasi bidang (002) dan 43° untuk orientasi bidang (100) (Farma et al, 2013). Puncak lain yang terdapat pada

Gambar tersebut adalah KO_2 dan H_2O_4 , kehadiran unsur-unsur ini disebabkan karena pada saat aktivasi kimia menggunakan aktivator KOH dan kurang bersihnya dalam proses pencucian.



Gambar 3 Pola difraksi sinar-X elektroda karbon

Pengolahan data perhitungan parameter kisi elektroda karbon pelepah nipah seperti tinggi lapisan (L_c), lebar lapisan (L_a) dan jarak antar kisi (d) juga dilakukan dalam penelitian ini. Analisis dimensi mikrokristalin menunjukkan bahwa sampel PN650 memiliki nilai L_c tertinggi yaitu sebesar 7,947 nm yang mempunyai nilai N_p sebesar 2,176 dan nilai L_c yang terendah terdapat pada sampel dengan kode PN750 sebesar 2,082 Å. Nilai L_c berbanding lurus dengan luas permukaan elektroda karbon, jika nilai L_c tinggi maka luas permukaan tinggi (Qu, 2002). Tabel 1 menunjukkan bahwa sampel PN650 memiliki nilai L_c yang paling tinggi. Nilai L_c didukung oleh nilai densitas dimana sampel PN650 memiliki nilai densitas paling rendah. Hasil yang serupa juga didapatkan (Farma et al, 2013) juga mendapatkan nilai L_c tertinggi sebesar 12,45 nm dan memiliki nilai kapasitansi tertinggi sebesar 85 F/g.

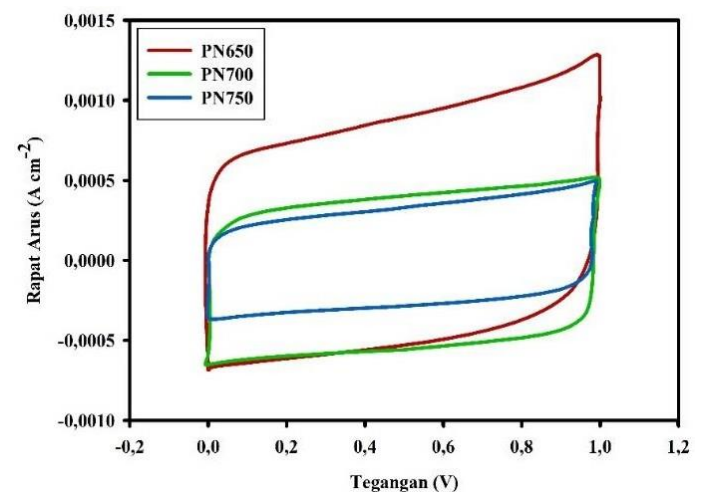
Tabel 1 Jarak antar bidang dan dimensi mikrokristalin elektroda karbon

Kode sampel	$2\theta_{(002)}$ (°)	$2\theta_{(100)}$ (°)	$d_{(002)}$ (nm)	$d_{(100)}$ (nm)	L_c (nm)	L_a (nm)	L_a/L_c	N_p
PN650	24,349	43,600	3,652	2,074	7,947	43,243	5,441	2,176
PN700	24,345	43,509	3,653	2,078	7,541	33,095	4,388	2,064
PN750	25,693	42,926	3,464	2,105	2,082	2,837	1,362	0,601

Analisis Cyclic Voltametry (CV)

Gambar 4 merupakan kurva *Cyclic Voltamogram* yang menunjukkan hubungan antara rapat arus pada laju pemindaian 1 mV/s dan tegangan. Luas kurva yang dibentuk oleh arus *charge* dan *discharge* menunjukkan kemampuan kerja dan menyimpan energi elektrokimia.

Luas kurva *charge* dan *discharge* yang terbesar ditunjukkan oleh sampel PN650. Luas kurva yang besar menunjukkan nilai kapasitansi spesifik terbesar. Tabel 2 menunjukkan nilai kapasitansi spesifik (C_{sp}) tertinggi dimiliki oleh sampel PN650 dengan nilai sebesar 223,55 F/g dan nilai terendah dimiliki oleh sampel PN-750 sebesar 84,97 F/g, semakin tinggi suhu karbonisasi yang diberikan maka semakin rendah nilai kapasitansi yang didapatkan.

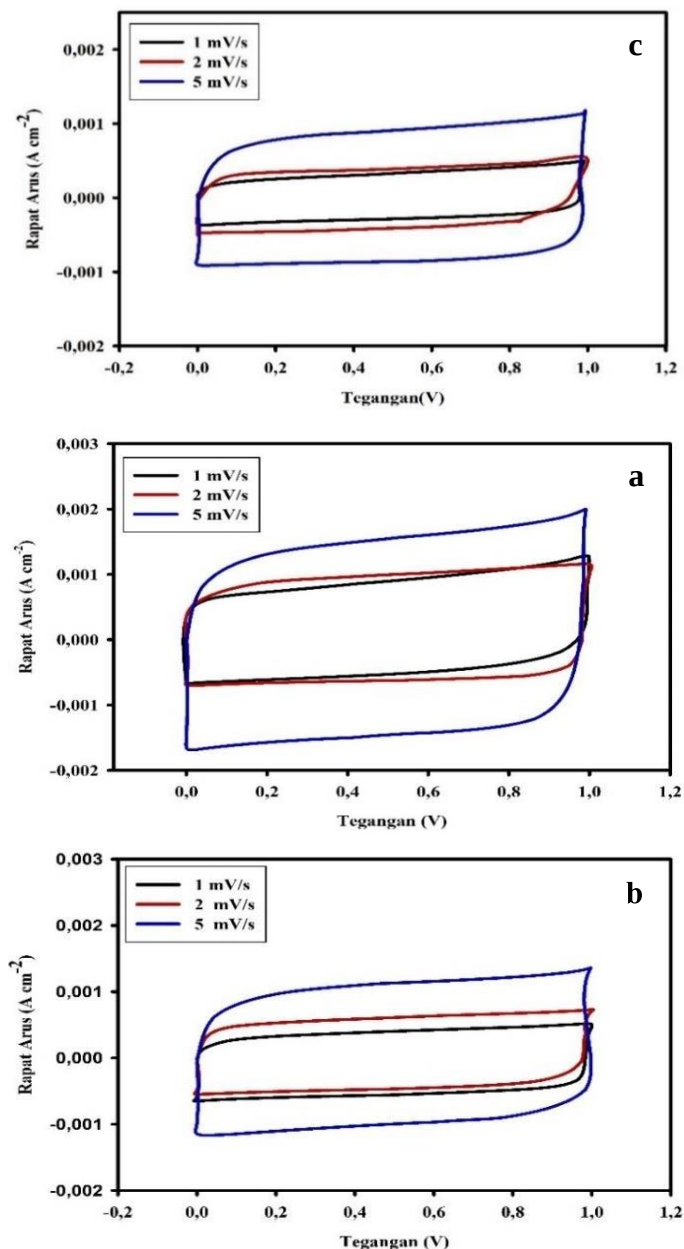


Gambar 4 Kurva *Cyclic Voltamogram* untuk setiap sampel

Tabel 2. Nilai kapasitansi spesifik

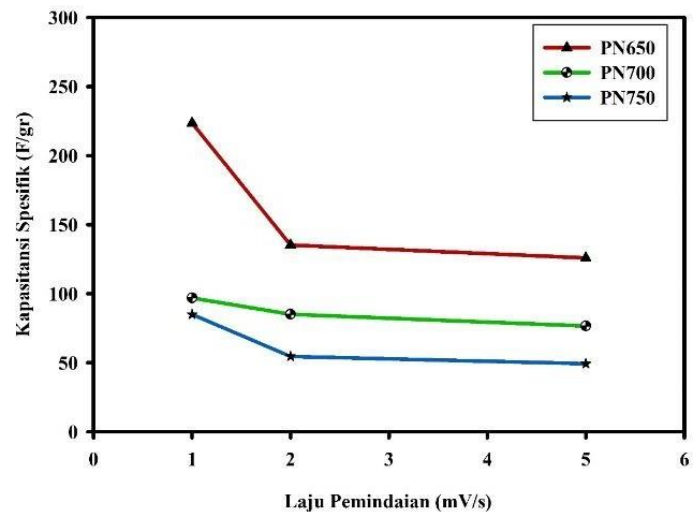
Kode Sampel	C_{sp} (F/g)
PN650	223,55
PN700	96,87
PN750	84,97

Gambar 5(a), (b) dan (c) menunjukkan variasi laju pemindaian untuk sampel PN650, PN750 dan PN750. Laju pemindaian sangat mempengaruhi luas kurva dan nilai kapasitansi spesifik. Nilai kapasitansi spesifik menurun seiring dengan peningkatan laju pemindaian, semakin besar laju pemindaian maka ion-ion elektrolit tidak memerlukan waktu yang cukup untuk berdifusi ke dalam pori-pori elektroda karbon. Pemberian tegangan 0 - 1000 mV dan laju pemindaian 1 mV/s membutuhkan waktu 1000 detik untuk melakukan difusi ion-ion ke dalam elektroda karbon secara sempurna sedangkan laju pemindaian 5 mV/s membutuhkan waktu 200 detik bagi ion elektrolit untuk berdifusi secara sempurna. Sehingga terlihat jelas bahwa perbedaan waktu untuk ion berdifusi dengan pemberian laju pemindaian yang kecil dan besar. Waktu berdifusi yang lebih lama (1000 detik) membuat ion-ion lebih sempurna saat mengisi pori elektroda, hal inilah yang membuat nilai kapasitansinya lebih besar daripada waktu yang lebih singkat (200 detik).



Gambar 5 Kurva variasi laju pemindaian sampel (a) PN650, (b)PN700 dan (c) PN750

Gambar 6 menunjukkan pengaruh laju pemindaian terhadap nilai kapasitansi spesifik dan juga menunjukkan bahwa setiap sampel mengalami penurunan nilai kapasitansi spesifik seiring dengan meningkatnya laju pemindaian. Nilai kapasitansi spesifik bergantung pada laju pemindaian *cyclic voltamogram* yang digunakan. Kapasitansi spesifik berkurang dengan bertambahnya laju pemindaian yang digunakan. Penurunan nilai kapasitansi spesifik disebabkan karena pada laju pemindaian yang lebih besar ion-ion elektrolit tidak memiliki cukup waktu untuk meresap ke dalam pori-pori karbon sehingga menghasilkan kapasitansi spesifik yang lebih kecil.



Gambar 6 Grafik nilai kapasitansi spesifik dengan variasi laju pemindaian

Kesimpulan

Penelitian telah selesai dilakukan dengan sampel yang digunakan yaitu pelepah nipah dengan variasi suhu karbonisasi. Suhu karbonisasi terbaik pada pelepah nipah yaitu 650°C yang diberi kode sampel PN650. Memiliki nilai kapasitansi tertinggi yaitu sebesar 223,55 F/g didukung dengan nilai densitas terendah yaitu 0,3206 g/cm³ dan memiliki nilai L_c tertinggi sebesar 7,947 nm.

Referensi

- Wang, G., Zhang, L., Zhang, J. 2012. A Review of Electrode Materials for Electrochemical Supercapacitors, *Chem. Soc. Rev.* 41, 797-828.
- Kötz, R., Carlen, M. 2000. Principles and applications of electrochemical capacitors. *Electrochemical Acta*, p.2483-2498.
- Wang, Y., and Yang, Y. 2019. Superhydrophobic Surfaces-based Redox-induced Electricity from Water Droplets for Self-powered Wearable Electronic. *Nano Energy*. 56: 547-554.
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). 2014. Outlook energi Indonesia 2014: Pengembangan energi untuk mendukung program substitusi BBM. (A. Sugiyono, Anindhita, M. S. Boedoyo, & Adiarso, Eds.). Jakarta: Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Niu, C., Sichel, E. K., Hoch, R., Moy, D., Tenneth, H. 1997. High power Electrochemical Capacitors Based on Carbon Nanotube Electrodes. *Appl Phys Lett* 70, 1480.
- Kim, K.H., Oh, Y., Islam, M. F. 2012. Graphene Coating Makes Nanotube Aerogels Super elastic and Resistant to Fatigue. *Nature Nanotechnology*, 7 (9): 562-566.
- Gamby, J., Taberna, P. L., Simon, P., Fauverque, J. F., Chesneau, M. 2001. Studies and Characterization of Various Activated Carbon Used for Carbon/ Carbon Supercapacitor. *Journal of Power Sources*; 101, 109-116.
- Ong, L. K., Kurniawan, A., Suwandi, A. C., Lin, C. X., Zhao, X. S., and Ismadji, S. 2012. A Facile and Green

- Preparation of Durian Asheel- Derived Carbon Electrodes for Electrochemical Double-Layer Capacitors. *Progress in Natural Science: Materials International*, 22 (6): 624-630.
- Brebu, M. Vasile, C. 2010. Thermal Degradation of Lignin. *Cellulose Chemistry Technology* Vol 49 (9):353-363.
- Hayashi, S. and McMahon, A.P. 2002. Efficient Recombination in Diverse Tissues by a Tamoxifen-Inducible form of Cre: A tool for Temporally Regulated Gene Activation/Inactivation in the Mouse, *National Conference on Chemical Engineering Science and Applications (CHESA)*, Banda Aceh, Indonesia.
- Leofanti, G., Padovan, M., Tozzola, G. and Venturelli, B. 1998. Surface Area and Pore Texture of Catalysis. *Catal. Today*. 41, 2017- 219.
- Qu, D. 2002. Studies of the activated carbon used in double-layer supercapacitor. *Journal of Power Sources*. Vol. 109: 403-411.
- Farma, R., Deraman, M., Awitdrus, A., Talib, I. a, Taer, E., Basri, N. H., & Hashmi, S. a. 2013. Physical and Electrochemical Properties of Supercapacitor Electrodes Derived from Carbon Nanotube and Biomass Carbon. *International. Journal. Electrochemical. Science*. 8, 257–273.