

# Pembuatan Karbon Aktif dari Ampas Teh yang Diaktivasi Dengan NaOH Sebagai Material Elektroda Superkapasitor

## *Preparation of Activated Carbon from Tea Waste by NaOH Activation as A Supercapacitor Material*

Eldya Mossfika, Syukri, Hermansyah Aziz\*

Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas

*Received February, 2020, Accepted April, 2020*

DOI: 10.24815/jacps.v9i2.15905

Karbon aktif dari ampas teh telah disintesis dan telah diuji sebagai elektroda superkapasitor. Pembuatan karbon aktif berdasarkan variasi rasio massa karbon dan aktivator NaOH yaitu 1:4, 1;5 % b/b yang diberi kode AC-4 dan AC-5. Sintesis elektroda karbon aktif diawali dengan proses pra-karbonisasi dan dilanjutkan dengan proses aktivasi kimia. Sampel di karbonisasi pada suhu 800 °C dengan laju kenaikan 5<sup>0</sup>C/menit dalam kondisi gas inert (N<sub>2</sub>). Karbon aktif ampas teh dikarakterisasi dengan SAA (*Surface Area Assessment*). Sifat elektrokimia dan kinerja elektroda karbon aktif yang disintesis diukur menggunakan metode voltametri siklik dalam larutan elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M. Elektroda karbon aktif menunjukkan kapasitansi spesifik tertinggi pada sampel AC-4 yaitu 67 F/g dengan scan rate 1 mV/s dan luas permukaan spesifik 473 m<sup>2</sup>/g. Mengingat sifat elektrokimia yang menarik tersebut, dan banyaknya ampas teh yang mudah ditemukan disekitar kita maka elektroda karbon aktif ini berpotensi untuk bahan pembuatan superkapasitor elektrokimia skala besar di masa depan.

*Activated carbon from tea waste has been synthesized and has been tested as a supercapacitor electrode. Making activated carbon based on variations in the ratio of carbon mass and activator NaOH that is 1: 4, 1; 5%wt coded AC-4 and AC-5. Synthesis of activated carbon electrodes begins with the pre-carbonization process and is followed by a chemical activation process. Samples are carbonized at 800 °C with a rate of increase of 5<sup>0</sup>C / min under inert gas (N<sub>2</sub>) conditions. Activated carbon of tea waste is characterized by SAA (Surface Area Assessment). The electrochemical properties and performance of the activated carbon electrode were measured using the cyclic voltammetry method in a H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M electrolyte solution. The activated carbon electrode showed the high specific capacitance in the AC-4 sample of 67 F / g with a scan rate of 1 mV / s and surface area Specifically 473 m<sup>2</sup> / g. Considering these interesting electrochemical properties, and the abundance of tea dregs that are easily found around us, this activated carbon electrode has the potential to be a material for making large-scale electrochemical supercapacitors in the future.*

**Keywords:** Limbah ampas teh, Aktivator, Kapasitansi spesifik, NaOH, Supekapasitor

### Pendahuluan

Keterbatasan sumber energi menjadi permasalahan utama saat ini khususnya energi listrik di Indonesia. Semakin berkembangnya energi listrik menjadi bagian yang tidak bisa dipisahkan dari kebutuhan hidup masyarakat sehari-hari seiring dengan pesatnya peningkatan pembangunan di bidang teknologi, industri dan informasi. Perkembangan teknologi tersebut menuntut penyimpanan energi untuk barang-barang elektronik yang mudah dibawa kemana-mana. Kebutuhan akan

energi yang lebih besar mendorong hadirnya penyimpanan energi berkemampuan superkapasitor (Kwon *et al*, 2014). Penyimpanan energi listrik yang besar sangat penting dalam mengatasi kebutuhan energi akibat banyaknya barang-barang hasil produksi yang membutuhkan energi yang tinggi. Baterai menjadi salah satu pilihan utama sebagai tempat penyimpanan energi, namun masyarakat sudah mulai menyadari bahwa ketergantungan baterai terhadap bahan kimia pada saat proses pengisian energi membuat baterai ini tidak cocok

digunakan untuk penyimpanan energi yang tinggi (Azizi *et al*, 2018). Superkapasitor merupakan sebagai bentuk lain dari tempat penyimpanan energi, menunjukkan kekuatan densitas yang tinggi dan siklus penggunaan yang panjang dibandingkan baterai (Yang *et al*, 2018).

Sejauh ini telah terdapat ide dan minat yang besar dikalangan para peneliti untuk mengembangkan dan menyempurnakan perangkat penyimpanan energi yang lebih efisien. Salah satu perangkat tersebut ialah superkapasitor. Superkapasitor dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori utama, yaitu *electricchemical double layer capacitors* (EDLC), *pseudocapacitors* dan kapasitor hibrid. EDLC menunjukkan tidak adanya transfer elektron pada permukaan elektroda dan penyimpanan energinya elektrostatis. Superkapasitor memanfaatkan permukaan elektroda dan larutan elektrolit untuk mencapai kapasitansi beberapa kali lipat lebih besar dibandingkan kapasitor konvensional (Kamikuri *et al*, 2014; Suwandana, 2015; Liew *et al*, 2016a; Liew *et al*, 2016b).

Kapasitor elektrokimia mempunyai kekuatan densitas yang tinggi tetapi rendah energi densitasnya, dan sangat baik digunakan pada kendaraan atau sarana yang menggunakan listrik, dapat digabungkan dengan baterai atau bahan bakar yang tinggi energi densitasnya (Wei and Yushin, 2012). Kinerja superkapasitor tergantung pada bahan dasar penyusun elektroda. Bahan dasar elektroda yang digunakan adalah karbon aktif, logam oksida, dan polimer konduktif (Barnawi *et al*, 2013; Tetra *et al*, 2016; Taslim *et al*, 2018). Dibandingkan dengan bahan elektroda yang lain, bahan karbon aktif mudah didapat, biaya murah, memiliki konduktivitas listrik yang tinggi dan luas permukaan yang besar ((Simon and Gogotsi, 2008); Frackowiak *et al*, 2013).

Penggunaan karbon aktif sebagai elektroda karbon hendaknya bersifat porous dan ringan. Komposisi substrat atau material yang dipilih dapat memberikan pengaruh positif pada proses pembuatan elektroda superkapasitor (Abioye *et al*, 2015; Kang *et al*, 2018). Salah satu jenis material yang ramah lingkungan untuk elektroda superkapasitor adalah limbah ampas teh. Berbagai manfaat teh untuk kesehatan juga telah diakui oleh para pakar gizi. Salah satu jenis produk minuman ringan yang cukup dikenal di Indonesia adalah minuman teh. Menurut hasil riset MARS di lima kota besar di Indonesia (Jakarta, Medan, Surabaya,

Bandung, Semarang), menunjukkan bahwa minuman teh dikonsumsi oleh 79% penduduk Indonesia. Hal ini menunjukkan bahwa masyarakat Indonesia sangat suka minum teh. Dengan banyaknya mengkonsumsi teh, maka banyak juga limbah ampas teh yang dihasilkan. Ampas teh yang biasanya hanya dibuang setelah diseduh dan hanya menjadi limbah, ternyata dapat digunakan sebagai material karbon aktif untuk elektroda superkapasitor karena komposisi kimianya (Yagmur *et al*, 2008; Ma *et al*, 2017; Shu *et al*, 2020). Limbah ampas teh banyak mengandung komposisi kimia diantaranya selulosa (16,2%), hemiselulosa (45,3%) dan lignin (38,5%) (Zheng *et al*, 2012). Tutus *et al*, tahun 2015 memperoleh hasil komposisi kimia dari limbah ampas teh holoselulosa (60%), selulosa (29%), alpha selulosa (26%), lignin (36%) dan *ash* (4,5%).

Pada penelitian ini elektroda karbon superkapasitor yang digunakan limbah ampas teh, namun bahan aktivator yang digunakan adalah NaOH. Pemanfaatan NaOH sebagai aktivator adalah zat pengaktif yang menghasilkan luas permukaan spesifik tinggi, harganya murah, dan ramah lingkungan. Kemampuan interkalasi logam natrium ke dalam struktur material berpori sehingga dapat meningkatkan jumlah pori dalam elektroda karbon dan mengakibatkan luas permukaan dan diameter pori yang lebih besar.

## Metodologi

Metodologi penelitian yang digunakan adalah metodologi eksperimen. Limbah ampas teh dicuci dengan akuades dan dikeringkan pada suhu ruang. Sampel bersih kemudian di oven pada suhu 110 °C hingga berat konstan. Kemudian dilakukan prakarbonisasi pada suhu 300 °C selama 2 jam. Setelah proses pra-karbonisasi selesai, karbon ampas teh dihaluskan dan diayak dengan menggunakan ayakan berukuran 400 mesh. Selanjutnya karbon disiapkan untuk proses aktivasi.

Proses Aktivasi dilakukan dengan mencampurkan karbon limbah ampas teh kedalam larutan NaOH dengan rasio massa karbon dan NaOH 1:4, 1:5 %b/b dan diaduk selama  $\pm 12$  jam sampai homogen. Karbon disaring dengan tujuan memisahkan antara endapan dan filtrat, lalu endapan dikeringkan didalam oven pada suhu 110 °C selama 1 jam. Didapatkan karbon aktif yang sudah kering. Karbon aktif yang sudah kering dikarbonisasi menggunakan *furnace* pada suhu 800 °C dalam kondisi gas *inert* (N<sub>2</sub>) dengan laju kenaikan suhu 5

°C/menit Selanjutnya, karbon dicuci dengan larutan HCl 1 mol/L hingga pH 7 untuk menghilangkan pengotor anorganik (Perdana *et al*, 2020).

Karbon aktif yang dihasilkan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110 °C selama  $\pm$  48 jam (Taer *et al*, 2018c). Ditimbang 0,7 g karbon aktif ampas teh di campurkan dengan PVA ((CH<sub>2</sub>CHOH)<sub>n</sub>) 5% hingga berbentuk pasta. Kemudian campuran tersebut dicetak menjadi pellet menggunakan hydraulic press dengan tekanan 8 ton dan ditahan selama 2 menit. Untuk pellet tersebut dibuat 2 buah dengan bentuk yang simetris. Selanjutnya dikeringkan dengan menggunakan oven 110 °C selama 24 jam (Perdana *et al*, 2020). Kemudian dilanjutkan dengan proses pemolesan hingga diperoleh pellet/elektroda dengan ukuran diameter 0,7 - 0,8 cm dan ketebalan 0,3 - 0,4 mm. Pellet/elektroda dicuci menggunakan akuades dan dikeringkan didalam oven pada suhu 110 °C selama 24 jam. Selanjutnya pellet direndam dalam 1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> selama 48 jam (Taer *et al*, 2010; Taer *et al*, 2018a; Tetra, 2018).

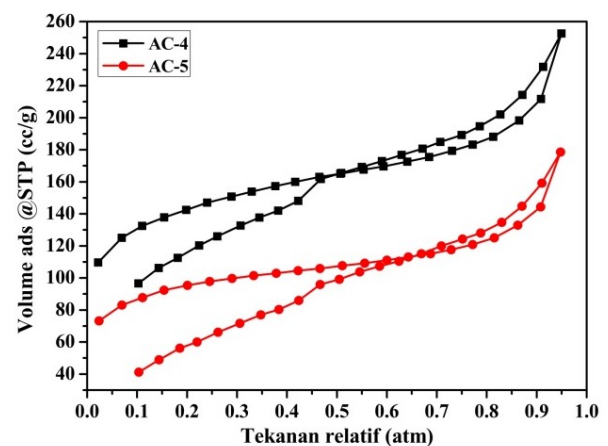
Karakterisasi karbon aktif limbah ampas teh dilakukan menggunakan *Surface Area Analyzer* (SAA) yang digunakan untuk analisis luas permukaan spesifik berdasarkan adsorpsi-desorpsi gas N<sub>2</sub> melalui metode Brunauer-Emmett-Teller (BET), sedangkan distribusi ukuran pori dianalisa menggunakan metode Barrett-Joyner Halenda (BJH). Sifat elektrokimia dilakukan menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV). Sel superkapasitor disusun dalam bentuk *sandwich* yang terdiri dari dua elektroda, dua *current collector*, pemisah (*separator*) dan larutan elektrolit. Elektroda yang digunakan adalah karbon aktif yang diproduksi dari ampas teh. Pengukuran sifat elektrokimia menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) dengan alat *Physics CV UR Rad-Er 5841*. Nilai potensial diukur dengan tegangan 1000 mV dan laju *scan* 1 mV/s.

### Hasil Penelitian

Sintesis elektroda superkapasitor menggunakan variasi rasio massa prakarbon dan NaOH (1:4, 1:5) dengan suhu karbonisasi 800 °C. Berdasarkan variasi rasio massa karbon dan NaOH yang digunakan sampel diberi kode AC-4 dan AC-5. Analisa luas permukaan spesifik dilakukan dengan adsorpsi-desorpsi gas N<sub>2</sub> melalui metode Brunauer-Emmett-Teller (BET), sedangkan distribusi ukuran pori dianalisa menggunakan metode Barrett-Joyner

Halenda (BJH). Analisis BET karbon aktif berbahan dasar limbah ampas teh diperoleh spektrum seperti pada Gambar 1, dan untuk analisa BJH ditunjukkan pada Gambar 2.

Isoterm adsorpsi-desorpsi menggunakan nitrogen pada suhu 77 K untuk sampel limbah ampas teh yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui luas permukaan spesifik dari karbon aktif ampas teh dan kemiringan kurva mulai terjadi pada nilai P/P<sub>0</sub> besar dari 0,1 atm.

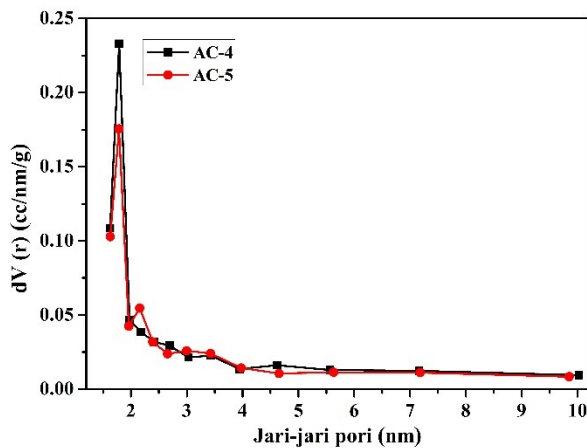


Gambar 1. Kurva adsorpsi dan desorpsi dari elektroda

Grafik pada Gambar 1 menunjukkan bahwa isoterm adsorpsi nitrogen di semua sampel ampas teh memperlihatkan pola yang sejenis dimana ada lonjakan kenaikan secara cepat pada tekanan relatif P/P<sub>0</sub> rendah, lalu melambat pada pertengahan dan adanya lonjakan kenaikan dengan cepat pada tekanan mencapai P/P<sub>0</sub> sekitar 0,7 sampai 0,8 atm (mendekati 1). Kenaikan pertama diakibatkan oleh molekul gas yang teradsorpsi berkontak dengan daerah berenergi pada permukaan padatan. Proses pengisian ini membentuk lapisan tunggal, dimana pertambahan molekul gas terjadi saat permukaan diisi oleh molekul gas dan membentuk lapisan tunggal pada daerah P/P<sub>0</sub> lebih tinggi. Pertambahan ini berdampak terbentuknya lapisan berlapis (multilayer) saat akhir pengisian, terjadi kondensasi molekul gas yang teradsorpsi, selain itu juga terlihat adanya *hysteresis loop* pada daerah pertengahan (Biswal *et al*, 2013).

Berdasarkan klasifikasi IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*), karbon aktif bahan dasar limbah ampas teh memiliki percabangan atau loop histeresis tipe H3 dan H4 yang menunjukkan bentuk pori celah lebar. Percabangan tersebut diakibatkan oleh

fenomena kondensasi kapiler yang terjadi didalam pori material. Histeresis tipe H3 adalah histeris yang terdapat dua ciri khas yaitu cabang adsorpsi menyerupai isoterm Tipe IV tergolong mesopori, batas bawah cabang desorpsi biasanya terletak pada rongga yang diinduksi  $P/P_0$  (Zhao *et al*, 2015).



Gambar 2. Distribusi ukuran pori dari karbon aktif

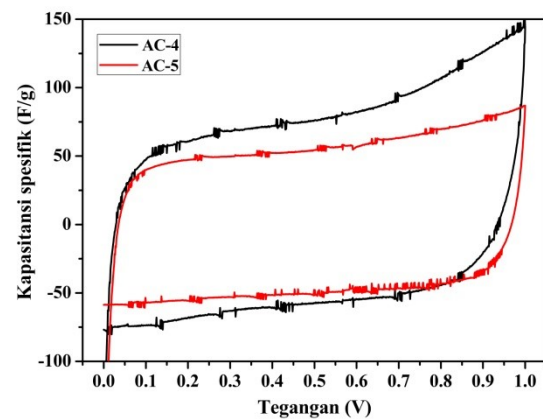
Gambar 2 menunjukkan hubungan antara perubahan  $dV(r)$  (cc/nm/g) terhadap jari-jari pori (nm). Distribusi ukuran pori pada Gambar 2 menunjukkan bahwa karbon aktif tersebut memiliki ukuran pori yang tidak seragam namun masih berada pada rentang mesopori dengan jari-jari pori rata-rata sebesar 1,32 nm. Pada rentang 2 – 10 nm, jari-jari pori yang diperoleh besar sedangkan volume pori yang terbentuk kecil. Jika volume pori semakin kecil, maka daya tampung senyawa yang terserap dalam pori-pori karbon aktif akan semakin kecil juga. Ukuran pori juga akan mempengaruhi selektifitas karbon terhadap senyawa yang akan masuk ke dalam rongga karbon aktif. Dapat disimpulkan bahwa pori dari karbon aktif ampas teh adalah mesopori karena jari-jari porinya kisaran 2 nm. Jelas bahwa aktivasi kimia menghasilkan ukuran partikel yang sangat kecil, terutama berkisar 2 nm. Hasil ini menunjukkan aktivator NaOH bisa berfungsi dengan baik dalam membentuk struktur berpori selama proses karbonisasi. Struktur yang longgar dan berpori akan menyediakan sistem pori terbuka yang berlimpah, dan bermanfaat untuk meningkatkan proses difusi dan transfer ion elektrolit. Penggunaan aktivator NaOH pada karbon ampas teh membantu memperluas permukaan dari karbon aktif dengan cara melarutkan pengotor yang bersifat asam dan menarik gugus fungsi yang terdapat dipermukaan karbon serta kemampuan interkalasi logam natrium ke dalam struktur material

berpori sehingga dapat meningkatkan jumlah pori dalam elektroda karbon dan mengakibatkan luas permukaan spesifik besar dan diameter pori kecil. (Van, 2014).

Tabel 1 menunjukkan bahwa volume total pori berbanding terbalik dengan jari-jari pori rata-rata. Semakin kecil jari-jari pori rata-rata, semakin besar luas permukaan spesifik. Luas permukaan spesifik tertinggi adalah elektroda AC-4 sebesar  $473 \text{ m}^2/\text{g}$ .

Tabel 1. Luas permukaan spesifik, jari-jari pori rata-rata, dan volume total pori

| Kode elektroda | Luas permukaan spesifik ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) | Volume total pori ( $\text{cc/g}$ ) | Jari-jari pori rata-rata (nm) |
|----------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| AC-4           | 473                                               | 3,92                                | 1,67                          |
| AC-5           | 313                                               | 2,77                                | 1,77                          |



Gambar 3. Data CV dari elektroda AC-4 dan AC-5

Sifat elektrokimia sel superkapasitor diukur menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 3. Kurva CV menjelaskan hubungan kapasitansi spesifik (F/g) terhadap tegangan (V). Pengukuran metode CV dilakukan pada tegangan 0-1 V dengan *scan rate* 1 mV/s. Penggunaan *scan rate* 1 mV /s ini dikarenakan pada *scan rate* ini, ion yang berdifusi ke dalam pori elektroda semakin banyak sehingga muatan yang dihasilkan juga semakin banyak. Kurva CV dari kedua elektroda tersebut memiliki bentuk menyerupai persegi panjang (Simon and Gogotsi, 2008). Berdasarkan Gambar 3 tersebut, kapasitansi spesifik sel superkapasitor tertinggi ditunjukkan oleh elektroda AC-4, hal ini dapat dikaitkan dengan lebar kurva yang terbentuk, semakin lebar kurva yang terbentuk, maka kapasitansi spesifik yang dihasilkan semakin tinggi.

Kapasitansi spesifik tertinggi ditunjukkan oleh elektroda AC-4 yaitu sebesar 67 F/g.

Tabel 2. Perbandingan nilai kapasitansi spesifik dan luas permukaan spesifik pada dua elektroda.

| Kode elektroda | Luas permukaan spesifik (m <sup>2</sup> /g) | Nilai kapasitansi spesifik (F/g) |
|----------------|---------------------------------------------|----------------------------------|
| AC-4           | 473                                         | 67                               |
| AC-5           | 313                                         | 53                               |

Tabel 2 menunjukkan perbandingan nilai kapasitansi spesifik dan luas permukaan spesifik pada dua elektroda. Elektroda AC-5 kapasitansi spesifiknya kecil dibandingkan AC-4. Hal ini membuktikan penggunaan zat pengaktif atau aktivator NaOH yang berlebihan berubah fungsi sebagai pengotor sehingga masuknya ion logam seperti Na<sup>+</sup> dan OH<sup>-</sup> menyebabkan tertutupnya pori-pori dari karbon aktif tersebut yang dapat mengurangi efisiensi transpor elektronnya yang mengakibatkan nilai konduktivitas listriknya menurun (Van, 2014)

## Kesimpulan

Karakterisasi karbon aktif berbahan dasar ampas teh yang diaktivasi kimia menggunakan aktivator NaOH disiapkan dalam kondisi optimum dianalisis dengan *Surface Area Analyzer* (SAA) menggunakan dua metode diantaranya metode BET dan BJH serta sifat elektrokimia diukur dengan metode *Cyclic Voltammetry*. Hasil yang di peroleh adalah material berpori dengan pori seragam berada pada rentang mesopori, diperoreh jari-jari pori rata-rata sekitar 2 nm yang menunjukkan tipe IV dan luas permukaan spesifik dari karbon aktif yang diperoleh secara signifikan tinggi pada 473 m<sup>2</sup>/g. Nilai kapasitansi spesifik menunjukkan hasil yang cukup tinggi pada AC-4 sebesar 67 F/g dan bisa diterima sebagai material elektroda superkapasitor.

## Referensi

- Abioye, A. M., & Ani, F. N. 2015. Recent Development In The Production Of Activated Carbon Electrodes From Agricultural Waste Biomass For Supercapacitors: A Review. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*. Vol. 52: 1282–1293.
- Azizi, I., & Radjeai, H. 2018. A New Strategy For Battery And Supercapacitor Energy Management For An Urban Electric Vehicle. *Electrical Engineering*. Vol. 100, No. 2: 667–676.
- Barnawi, I. I., Taer, E., & Umar, A. A. 2013. Efek Penumbuhan Nanopartikel Platinum Pada Elektroda Karbon Terhadap Prestasi Superkapasitor. *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia*. Vol. 11, No. 1: 1–5.
- Biswal, M., Banerjee, A., Deo, M. and Ogale, S. 2013. From Dead Leaves to High Energy Density Supercapacitor Energy Environmental Science. Vol. 6: 1249-1260.
- Frackowiak, E., Abbas, Q., & Béguin, F. 2013. Carbon/Carbon Supercapacitors. *Journal Of Energy Chemistry*. Vol. 22, No. 2: 226–240.
- Kamikuri, N., Hamasuna, Y., Tashima, D., Fukuma, M., Kumagai S., Madden J., D., W. 2014. Low-Cost Activated Carbon Materials Produced from Used Coffee Grounds for Electric Double-layer Capacitors. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)*. Vol. 3: 492-501.
- Kang, X., Zhu, H., Wang, C., Sun, K., Yin, J. 2018. Biomass Derived Hierarchically Porous And Heteroatom-Doped Carbons For Supercapacitors. *Journal of Colloid and Interface Science*. Vol. 509: 369–383.
- Kwon, SH., Lee, E., Kim, B., Kim, S., Lee, B., Kim, M., Jung, JC. 2014. Activated Carbon Aerogel As Electrode Material For Coin-Type EDLC Cell In Organic Electrolyte. *Current Applied Physics*. 603-607.
- Liew, C. W., Ramesh, S., & Arof, A. K. 2016a. Enhanced Capacitance Of EDLC (Electrical Double Layer Capacitors) Based On Ionic Liquid-Added Polymer Electrolytes. *Energy*. Vol. 109: 546–556.
- Liew, C. W., Ramesh, S., & Arof, A. K. 2016b. Investigation Of Ionic Liquid-Doped Ion Conducting Polymer Electrolytes For Carbon-Based Electric Double Layer Capacitors (EDLC). *Materials And Design*. Vol 92: 829–835.
- Ma, G., Li, J., Sun, K., Peng, H., Feng, E., & Lei, Z. 2017. Tea-Leaves Based Nitrogen-Doped Porous Carbons For High-Performance Supercapacitors Electrode. *Journal Of Solid State Electrochemistry*. Vol. 21, No. 2: 525–535.
- Perdana, Y. A., Joni, R., Emriadi, Aziz, H. 2020. Effect of KOH Activator on the Performance of Activated Carbon from Oil Palm Kernel Shell as Supercapacitor Electrode Material. *J. Aceh Phys. Soc*. Vol. 9, No. 1: 13-19.
- Revo, S. L., Budzulyak, I. M., Rachiy, B. I., &

- Kuzishin, M. M. 2013. Electrode Material For Supercapacitors Based On Nanostructured Carbon. *Surface Engineering And Applied Electrochemistry*. Vol. 49, No. 1: 68–72.
- Shu, Y., Bai, Q., Fu, G., Xiong, Q., Li, C., Shen, Y., Uyama, H., and Ding, H. 2020. Hierarchical Porous Carbons from Polysaccharides Carboxymethyl Cellulose, Bacterial Cellulose, and Citric Acid for Supercapacitor. *Carbohydrate Polymers*. Vol. 227: 115346
- Simon, P., and Gogotsi, Y. 2008. Material for Electrochemical Capacitors. *Nature Materials*. Vol. 7:845-854
- Suwandana, R.F., dan Susanti, D. 2015. Analisis Pengaruh Massa Reduktor Zinc Terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor Material Graphene. *Jurnal Teknik ITS*. Vol. 4, No. 1: 1–1.
- Taer, E., Deraman, M., Talib, I.A., Umar, A.A., Oyama, M., and Yunus, R.M. 2010. Physical, Electrochemical and Supercapacitive Properties of Activated Carbon Pellets from Pre-Carbonized Rubber Wood Sawdust by CO<sub>2</sub> Activation. *Current Applied Physics*. Vol. 10: 1071-1075.
- Taer, E., Taslim, R., Mustika, W.S., Kurniasih, B., Agustino, Afrianda, A., and Apriwandi. 2018a. Production of an Activated Carbon from A Banana Stem and its Application as Electrode Materials for Supercapacitors. *International Journal of Electrochemical Science*. Vol. 13: 8428–8439.
- Taer, E., Zulkifli, Sugianto, Syech, R., & Taslim, R. 2015. Analisa Siklis Voltametri Superkapasitor Karet Berdasarkan Variasi Aktivator KOH, IV. Vol 1: 105–110.
- Taslim, R., Agustino, A., & Taer, E. 2018b. Natural carbon-Metal Composite For Supercapacitor Application. *Journal Of Physics: Conference Series*. Vol. 1120, No.1: 1-10.
- Taer, E., Dewi, P., Sugianto., Syech, R., Taslim, R., Salomo., Susanti, Y., Purnama, A., Apriwandi., Agustino., and Setiadi, R.N. 2018e. The Synthesis of Carbon Electrode Supercapacitor from Durian Shell Based on Variations in the Activation Time. *AIP Conference Proceedings*. Vol: 1927 030026-1- 030026-6.
- Tetra, O. N. 2018. Superkapasitor Berbahan Dasar Karbon Aktif Dan Larutan Ionik Sebagai Elektrolit. *Jurnal Zarah*. Vol. 6, No. 1: 39–46.
- Tetra, O. N., Aziz, H., Emriadi, Wahyuni, H., & Alif, A. 2016. Performance Of TiO<sub>2</sub>-Carbon On Ceramic Template With Sodium Hydroxide Activation As Supercapacitor Electrode Materials. *Der Pharma Chemica*. Vol. 8, No. 17: 26–30.
- Tutus, Ahmet, Yasar Kazaskeroglu, and Mustafa Cicekler. 2015. Evaluation of Tea Waste in Usage Pulp and Paper Production. *BioResources*. Vol. 10, No. 3: 5407-5416.
- Van, K.L. and Thi, T.T.L. 2014. “Activated Carbon Derived From Rice Husk By NaOH Activation And Its Application In Supercapacitor”. *Progress in Natural Science Materials International*. 1-8.
- Wei, L., & Yushin, G. 2012. Nanostructured Activated Carbons From Natural Precursors For Electrical Double Layer Capacitors. *Nano Energy*. Vol. 1, No. 4: 552–565.
- Yagmur, E., Ozmak, M., & Aktas, Z. 2008. A Novel Method For Production Of Activated Carbon From Waste Tea By Chemical Activation With Microwave Energy. *Fuel*. Vol. 87, No. 15: 3278–3285.
- Yang, Q.-Q., Gao, L.-F., Zhu, Z.-Y., Hu, C.-X., Huang, Z.-P., Liu, R.-T., Wang, Q., Gao, F., and Zhang, H.-L., 2018. Confinement Effect of Natural Hollow Fibers Enhances Flexible Supercapacitor Electrode Performance, *Electrochimica Acta*. Vol. 260: 204-211.
- Zheng, H, J., A, M., & C, A, Ma. 2012. Effect of Pore Characteristics on Electrochemical Capacitance of Activated Carbons. *Russian Journal of Electrochemistry*. Vol. 48, No. 12: 1179–1186.
- Zhao, Q., Wang, X. Y., Xia, H., Liu, J., Wang, H., Gao, J., Zhang, Y. W., Liu, J., Zhou, H. Y., Li, X. L., Zhang, S. Y. and Wang, X.Y. 2015. Design, Preparation and Performance of Novel Three-Dimensional Hierarchically Porous Carbon for Supercapacitors. *Electrochimica Acta*. Vol. 173: 566-574.