

Pembuatan Karbon Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Elektroda Superkapasitor

Amelina Dwika Hardi, Rahma Joni, Syukri, Hermansyah Aziz*

Laboratorium Kimia Fisika, Jurusan Kimia,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 18 Juni 2020
Direvisi: 7 Oktober 2020
Diterima: 14 Oktober 2020

Kata kunci:

karbon aktif
superkapasitor
tandan kosong kelapa sawit
luas permukaan kendaraan

Keywords:

activated carbon
supercapacitor
palm oil palm empty fruit bunches
surface area

Penulis Korespondensi:

Hermansyah Aziz
Email: haziz13@yahoo.com

ABSTRAK

Pembuatan karbon aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKS) sebagai elektroda superkapasitor sudah diteliti. Karbon aktif dibuat dari proses karbonisasi dan aktivasi menggunakan Kalium Hidroksida (KOH). Karbon aktif TKS dikarbonisasi melalui pembakaran sampel pada suhu 400°C dan diaktivasi dengan KOH pada suhu 800°C dalam lingkungan gas nitrogen. Karbon aktif TKS dikarakterisasi menggunakan *Energi Dispersive X-Ray* (EDX), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Surface Area Analyzer* (SAA). Komposisi unsur karbon yang dihasilkan dari karbon aktif TKS adalah sebesar 88,93 %wt. Struktur kristalit dari karbon aktif TKS menunjukkan struktur amorf pada sudut 2θ 26,20° dan 43,08°. Hasil analisis SAA dengan metode *Brunauer-Emmet-Teller* (BET) didapatkan luas permukaan karbon aktif TKS sebesar 898,229 m²/g. Pengukuran sifat listrik karbon Aktif TKS sebagai elektroda superkapasitor menggunakan larutan elektrolit H₂SO₄ 1M dengan metoda *Cyclic Voltametry* (CV) didapatkan nilai kapasitansi spesifik sebesar 107,83 F/g.

Preparation of activated carbon from Oil Palm Empty Fruit Bunch (TKS) as a supercapacitor electrode has been investigated. Activated carbon is made from carbonization and activation processes using Potassium Hydroxide (KOH). Activated carbon TKS is carbonized by burning the sample at 400°C and activated with KOH at 800°C in a nitrogen gas environment. Activated carbon TKS was characterized using Energi Dispersive X-Ray (EDX), X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), Surface Area Analyzer (SAA). The composition of the element carbon produced from activated carbon TKS is 88.93% wt. The crystallite structure of TKS activated carbon shows an amorphous structure at an angle of 2θ 26,20° and 43,08°. The results of the SAA analysis by the Brunauer-Emmet-Teller (BET) method showed that the surface area of the TKS activated carbon was 898.229 m²/g. Measurement of electrical properties of activated carbon TKS as a supercapacitor electrode using a 1M H₂SO₄ electrolyte solution with the Cyclic Voltametry (CV) method obtained specific capacitance values of 107.83 F/g.

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Sistem penyimpanan energi listrik telah banyak dikembangkan seperti baterai, sel bahan bakar dan superkapasitor. Superkapasitor memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan baterai dan sel bahan bakar, diantaranya adalah waktu hidup yang lebih lama, prinsip dan modelnya yang sederhana, waktu pengisian yang pendek, aman dan memiliki rapat daya yang tinggi (Sharma, 2018). Kinerja superkapasitor tergantung pada bahan dasar penyusun elektroda. Bahan dasar elektroda yang digunakan berupa material dengan tingkat porositas yang tinggi seperti karbon, logam oksida, dan polimer konduktif (Abioye dan Ani, 2015). Dibandingkan dengan bahan elektroda yang lain, bahan karbon mudah didapat, biaya murah, memiliki konduktivitas listrik yang tinggi dan luas permukaan yang besar (Frackowiak dkk., 2013).

Bahan berbasis karbon telah banyak dikembangkan seperti karbon *nanotube* (Wen dkk, 2016), *graphene* (Gong dkk, 2015), karbon *nanofiber* (Xie dan Feng, 2014) dan karbon aktif berbasis biomassa (Garcia, 2017). Beberapa tahun terakhir, dibandingkan dengan bahan karbon lainnya, superkapasitor dibuat dari bahan berbasis biomassa seperti cangkang kelapa sawit (Perdana dkk, 2020), ampas teh (mossfika dkk, 2020), daun nanas (Agustino dkk, 2020), daun ketaping (Taer dkk, 2018), biji karet (Pagketenanga dkk, 2015), tandan kosong kelapa sawit (Taer dkk, 2016) yang lebih banyak menarik perhatian karena biaya yang rendah, hasil yang banyak, terbarukan dan berkontribusi dalam pengurangan limbah organik serta mudah didapat. (Zheng dkk, 2017).

Karbon aktif dari bahan biomassa mengandung bahan lignoselulosa seperti lignin, selulosa, hemiselulosa yang berkontribusi dalam membangun struktur karbon aktif. Perbedaan jenis biomassa, jumlah karbon yang dihasilkan juga berbeda (Garcia, 2017). Tandan kosong kelapa sawit (TKS) merupakan biomassa yang mengandung 41,3-45% selulosa, 25,3-33,8% hemiselulosa, and 27,6-32,5% lignin yang dapat dijadikan bahan utama pembuatan karbon aktif penyusun elektroda superkapasitor (Richana dkk, 2015). Ketersediaan tandan kosong kelapa sawit cukup berlimpah. Sumatera Barat memiliki perkebunan kelapa sawit dengan luas sekitar 221.669 hektar dan menghasilkan 587.930 ton di tahun 2019 menurut data Badan Pusat Statistik Provinsi Sumatera Barat.

Taer (2016) melaporkan penggunaan tandan kosong kelapa sawit sebagai sumber karbon aktif untuk elektroda superkapasitor didapatkan nilai kapasitansi sebesar 65,84 F/g dengan CO₂ sebagai media aktivator. Pada penelitian tandan kosong kelapa sawit (TKS) sebagai bahan baku dalam pembuatan karbon aktif. Karbon aktif diaktivasi menggunakan Kalium Hidroksida (KOH) untuk mendapatkan kapasitansi yang besar. Karbon aktif yang telah diaktivasi dipelajari kinerjanya sebagai elektroda superkapasitor dengan menentukan karakteristik dari material karbon aktif dan sifat-sifat elektrokimia yang dihasilkan.

II. METODE

2.1 Persiapan Sampel dan Karbonisasi Tandan Kosong Kelapa Sawit

Tandan kosong kelapa sawit (TKS) dibersihkan dengan akuades dan dikeringkan. Sampel bersih kemudian dipotong kecil-kecil dan dioven pada suhu 110°C (Hidayu, 2013). Kemudian dilakukan prekarbonisasi pada suhu 400°C selama 4 jam. Setelah proses prekarbonisasi selesai, karbon tandan kosong kelapa sawit dihaluskan dan diayak dengan menggunakan ayakan berukuran 400 mesh. Selanjutnya karbon disiapkan untuk proses aktivasi.

2.2 Aktivasi Karbon dari Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Kalium Hidroksida

Proses aktivasi dilakukan dengan mencampurkan karbon dan larutan KOH dengan perbandingan masa karbon dan karbon 1:5 %wt. Karbon direndam dengan KOH, distiring sampai homogen selama ±12 jam. Karbon disaring dan dioven pada suhu 110°C selama 1 jam. Karbon yang sudah kering tadi ditempatkan di wadah dengan laju pemanasan 5°C/menit dibawah atmosfer nitrogen pada suhu 800°C selama 2,5 jam. Terakhir, karbon dicuci dengan 1 mol/L larutan HCl hingga pH 7 untuk menghilangkan pengotor anorganik. Karbon aktif yang dihasilkan dikeringkan pada suhu 105°C.

2.3 Karakterisasi Karbon Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit

Karbon aktif tandan kosong kelapa sawit dikarakterisasi dengan menggunakan *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) untuk menentukan komposisi kimia dan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk melihat struktur kristal karbon aktif. Morfologi permukaan karbon aktif dikarakterisasi menggunakan

Scanning Elektron Microscopy (SEM) dan luas permukaan karbon aktif dikarakterisasi menggunakan *Surface Area Analyzer* (SAA) menggunakan metode *Brunauer-Emmet-Teller* (BET).

2.4 Pengukuran Sifat Elektrokimia dari Rangkaian Superkapasitor

Superkapasitor dirakit dengan dua buah plat karbon aktif TKS yang sudah berbentuk pelet dan dipisahkan oleh saporator membran telur. Pengukuran sifat elektrokimia dilakukan menggunakan CV dengan potensial 0,1-0,5 V dan kecepatan pemindaian 1 mV/s dalam larutan elektrolit H₂SO₄ 1M. Nilai arus, potensial dan waktu yang didapatkan pada sel superkapasitor digunakan untuk menghitung nilai kapasitansi spesifik dihitung dengan persamaan:

$$C_{sp} = \frac{I_c - I_d}{Sm} \quad (1)$$

dimana C_{sp} (kapasitansi spesifik), I_c (arus charge), I_d (arus discharge), S (scan rate) dan m (massa elektroda) (Taer, 2018).

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Komposisi Kimia Karbon Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit

Salah satu tingkat keberhasilan pembuatan karbon aktif adalah banyaknya kandungan karbon yang dihasilkan setelah proses aktivasi. Tabel 1 menunjukkan komposisi kimia karbon aktif dari TKS.

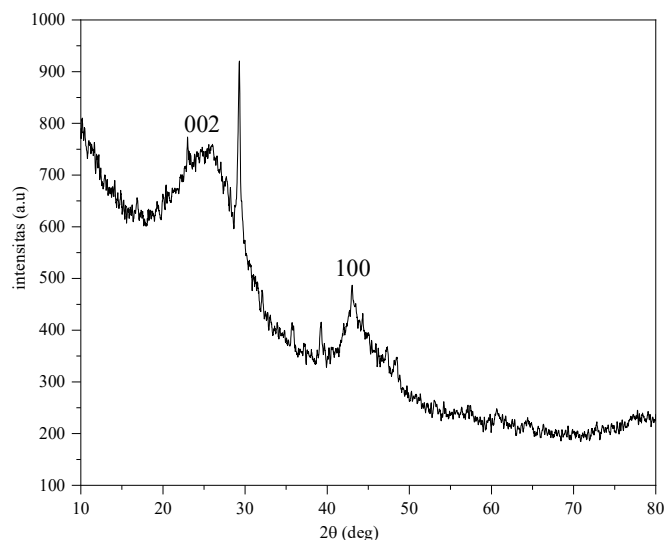
Tabel 1 Komposisi kimia karbon aktif dari TKS

Elemen	Persen Berat (%wt)
C	88,93
O	8,97
Al	0,66
Si	0,71
K	0,73

Elemen yang terkandung dalam karbon aktif dari TKS diperoleh dari uji EDX. Analisis EDX menunjukkan bahwa komposisi kimia yang terbanyak pada karbon aktif TKS adalah unsur karbon yaitu sebesar 88,93%wt. Proses aktivasi dengan KOH menyebabkan meningkatnya persen berat unsur karbon dari sampel biomassa TKS (Rawal dkk, 2018). Semakin banyak unsur karbon yang dihasilkan maka semakin banyak pula pori yang terbentuk sehingga dapat meningkatkan luas permukaan (Gacia, 2017) Selain itu, unsur-unsur seperti oksigen (O), aluminium (Al), silikon (Si), dan kalium (K) juga ditemukan dalam sampel karbon aktif TKS. Unsur O yang terbentuk berasal dari pembakaran karbon aktif yang tidak sempurna saat proses karbonisasi (Zheng dkk, 2017). Unsur Al dan Si umumnya ditemukan dalam sampel karbon aktif yang berasal dari bahan berbasis biomassa. Unsur K ditemukan karena proses pencucian yang kurang bersih dalam persiapan pembuatan elektroda.

3.2 Struktur kristalit karbon aktif TKS

Karakteristik karbon aktif dalam penentuan struktur kristalit ditentukan menggunakan analisis difraktogram XRD. Gambar 1 menunjukkan difraktogram dari sampel karbon aktif yang berasal dari tandan kosong kelapa sawit.

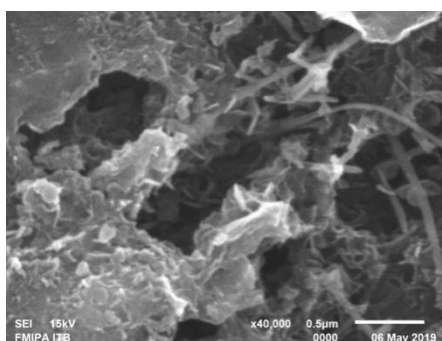


Gambar 1 Pola difraksi sinar-X karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit

Difraktogram XRD menunjukkan hubungan antara intensitas (a.u) terhadap sudut hamburan (2θ). Struktur kristalit karbon aktif TKS menunjukkan struktur amorf dengan 2 puncak yang lebar pada sudut 2θ $26,20^\circ$ dan $43,08^\circ$ yang bersesuaian pada bidang (002) dan (100) seperti yang terlihat pada Gambar 1. Kehadiran 2 puncak lebar ini sesuai dengan data *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS No.75-1621) yang menjadi karakteristik dari struktur karbon aktif (Tagreed dan Mustafa, 2015). Hal yang sama juga dilaporkan oleh Taer (2016) bahwa karbon aktif TKS yang diaktivasi menggunakan gas CO_2 juga menghasilkan 2 puncak yang lebar pada bidang 002 dan 100. Beberapa puncak tajam juga ada disamping yang menunjukkan adanya unsur-unsur lain yang merupakan karakterisasi kristal. Puncak tajam ini terkait dengan adanya bahan seperti silika (Taer dkk, 2017).

3.3 Morfologi Permukaan Karbon Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit

Morfologi permukaan karbon aktif TKS dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Analisis SEM digunakan untuk melihat morfologi, homogenitas dan ukuran pori partikel dari karbon TKS seperti yang terlihat pada Gambar 2.

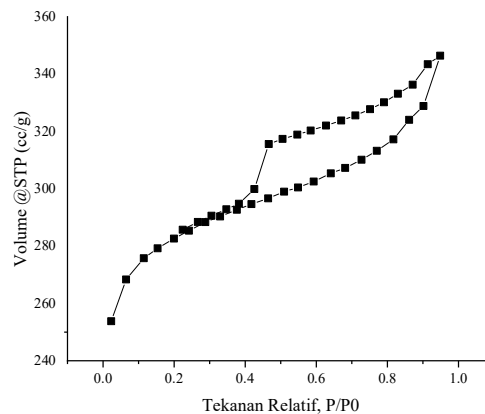


Gambar 2 Pola difraksi sinar-X karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit

Analisis SEM terhadap karbon aktif TKS mengakibatkan terbentuknya struktur pori pada permukaan karbon aktif seperti yang terlihat pada Gambar 2. Hal ini sama yang dilaporkan oleh Misnon (2015) dengan menggunakan sampel karbon aktif dari cangkang kelapa sawit, yang menyatakan bahwa karbon aktif dengan perlakuan aktivasi dapat meningkatkan porositas dari bahan karbon aktif. Struktur pori yang bagus dapat memudahkan ion-ion elektrolit untuk berdifusi pada permukaan karbon (Rawal dkk, 2018). Aktivasi karbon aktif TKS menyebabkan ukuran volume pori menjadi lebih besar dan distribusi ukuran pori lebih merata (Aziz, dkk 2016).

3.4 Luas Permukaan dari Karbon Aktif Tandan Kosong kelapa sawit

Luas permukaan karbon aktif TKS dianalisis menggunakan *Surface Area Analyzer* (SAA) dengan metode *Brunauer-Emmet-Teller* (BET). Isoterm adsorpsi N₂ pada 77 K mengandung sejumlah besar informasi yang berkaitan dengan struktur pori dan luas permukaan spesifik. Perubahan bentuk kurva isoterm mengisyaratkan perubahan struktur pori dan luas permukaan spesifik (Lee dkk, 2019). Gambar 3 menunjukkan kurva N₂ adsorpsi-desorpsi karbon aktif tandan kosong kelapa sawit pada 77K. Kurva N₂ adsorpsi-desorpsi menunjukkan hubungan antara volume adsorpsi (@STP, cc/g) terhadap tekanan relative (P/P₀).

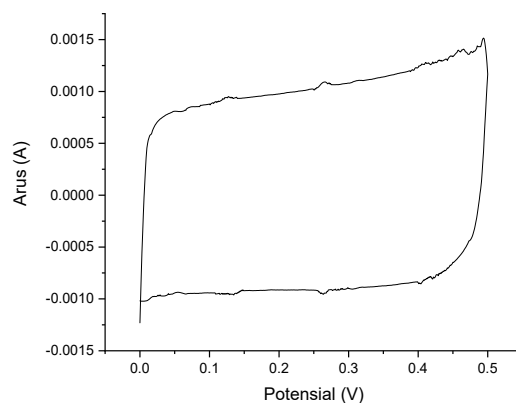


Gambar 3 Isoterm adsorpsi-desorpsi N₂ karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit.

Menurut klasifikasi *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC), menunjukkan bahwa karbon aktif memiliki bentuk isoterm Tipe I. Kurva yang menampilkan kurva cembung yang langsung memotong dengan garis $P/P_0 = 0,1$ mengindikasikan adanya mikropori pada sampel karbon aktif TKS (De lange dkk., 2014). Seperti dapat dilihat pada tahap awal, volume yang teradsorpsi meningkat tajam pada tekanan relatif rendah daerah ($P/P_0 < 0,2$). Ini berarti bahwa molekul nitrogen teradsorpsi terutama pada struktur mikropori (Hidayu dkk, 2013). Luas permukaan karbon aktif TKS dapat ditentukan dengan analisis BET dimana besarnya volume gas N₂ yang terserap dalam satu gram sampel. Luas permukaan karbon aktif TKS yang didapatkan sebesar 898,229 m²/g. Luas permukaan karbon aktif TKS yang didapatkan cukup besar untuk meningkatkan nilai kapasitansi dalam aplikasinya sebagai elektroda superkapasitor. Semakin besar luas permukaan maka nilai kapasitansinya juga semakin besar (Tetra dkk, 2016).

3.5 Sifat Elektrokimia Elektroda Superkapasitor

Sifat elektrokimia elektroda superkapasitor berbahan dasar karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit ditentukan menggunakan *Cyclic Voltametry* (CV). Potensial yang diberikan pada Elektroda superkapasitor dengan membran telur sebagai separator dalam larutan H₂SO₄ 1M menghasilkan arus charge dan arus discharge seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Kurva voltamogram siklik sel superkapasitor

Kurva voltamogram dari Gambar 4 memperlihatkan kurva berbentuk persegi yang menjadi ciri khas dari penyimpanan arus pada elektroda superkapasitor yang simetris pada *scan rate* 1-100 mV/s (Febryanto dkk, 2019). Kurva voltamogram menunjukkan hubungan antara potensial (V) yang diberikan dengan arus (A) yang dihasilkan. Berdasarkan hasil perhitungan menurut persamaan 1 maka didapat nilai kapasitansi spesifik sebesar 107,83 F/g. Perhitungan nilai kapasitansi dapat dijabarkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Perhitungan nilai kapasitansi elektroda superkapasitor berbahan dasar karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit

Besaran	Lambang	Nilai	Satuan
Arus charge	I_c	0,001025	A
Arus discharge	I_d	-0,000916	A
Scan rate	S	0,001	V
Massa	M	0,018	G
Kapasitansi Spesifik	C_{sp}	107,83	F/g

Nilai kapasitansi yang besar didapatkan dari karakteristik bahan penyusunnya. dimana karbon aktif TKS memiliki karakteristik porositas yang baik dan memiliki luas permukaan yang besar. Nilai kapasitansi yang didapatkan jauh lebih besar dibandingkan dengan Aziz (2017) yaitu sebesar 387,14 μ F. Aziz (2017) melaporkan tentang karbon aktif dari cangkang kelapa sawit.

IV. KESIMPULAN

Proses aktivasi dengan KOH menyebabkan meningkatnya persen berat unsur karbon dari sampel biomassa TKS yaitu sebesar 88,93%. Karbon aktif menunjukkan struktur kristalit amorf pada sudut dengan 2 puncak yang lebar pada sudut 2θ 26,20° dan 43,08° yang bersesuaian pada bidang (002) dan (100) dan memiliki penyebaran mikropori yang merata pada permukaan karbon. Luas permukaan karbon aktif TKS yang diaktivasi menggunakan KOH didapatkan sebesar 898,229 m²/g dari pengukuran SAA menggunakan metode BET. Nilai kapasitansi dari elektroda superkasitor berbahan dasar karbon aktif TKS didapat sebesar 107,83 F/g. Luas permukaan yang besar dan nilai kapasitansi yang besar yang ditunjukkan oleh kinerja karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit dapat dijadikan material penyusun elektroda superkapasitor.

DAFTAR PUSTAKA

Abioye, A. M., dan 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, pp.1282–1293

- Agustino, Awitdrus, Farma, R., Taer, E., 2020, 'Pembuatan dan Karakterisasi Elektroda Karbon Aktif dari Serat Daun Nanas untuk Aplikasi Superkapasitor', *Journal Aceh Physic Society*, vol 9, no.1, pp.1-8
- Aziz, H., Tetra, O., N., Syukri, Alif, A., Ramadhan, W., 2018, 'Utilization of porous carbon from waste palm kernel shells on carbon paper as a supercapacitors electrode material'. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 65, 012053
- Aziz, H., Tetra, O.N., Syukri, Alif A., Ramadhan, W., 2017, 'Utilization of porous carbon from waste palm kernel shells on carbon paper as a supercapacitors electrode material', *Earth and Environmental Science* vol.65, pp. 1-7
- De Lange, M. F. *et al.* (2014) 'Adsorptive characterization of porous solids: Error analysis guides the way', *Microporous and Mesoporous Materials* vol.200, pp.199–215
- Febriyanto, P., Jerry, Satria, A., W., Devianto, H., 2019 'Pembuatan Dan Karakterisasi Karbon Aktif Berbahan Baku Limbah Kulit Durian Sebagai Elektroda Superkapasitor', *Jurnal Integrasi Proses*, vol. 8, no.1, pp.19 – 24
- Frackowiak, E., Abbas, Q., B'eguín, F., 2013, 'Carbon/carbon supercapacitors', *Journal of Energy Chemistry*, vol. 22, pp.226–240
- Gong, Y., Li, D., Fu, Q., Pan, C., 2015, Influence of graphene microstructures on electrochemical performance for supercapacitors, *Progress in Natural Science: Materials International* vol.25, no.5, pp. 379-385
- González-García, P., 2017, 'Activated carbon from lignocellulosics precursors: A review of the synthesis methods, characterization techniques and applications', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.82, pp.1393-1414
- Hidayu, A.R., Mohamad, N.F., Matali, S., Sharifah, A.S.A.K., 2013, 'Characterization of activated carbon prepared from oil palm empty fruit bunch using BET and FT-IR techniques', *Procedia Engineering* vol.68, pp.379-384
- Lee, H.M., An, K, Soo-Jin Park, S., Kim, B., 2019 'Mesopore-rich activated carbons for electrical double-layer capacitors by optimal activation condition', *Nanomaterials* vol.9, no.4
- Mison, I.I., Khairiyah, N., Radhiyah, M.Z., Baiju, A.A., Jose, V.R., 2015, 'Electrochemical properties of carbon from oil palm kernel shell for high performance supercapacitors', *Electrochimica Acta*, vol.174 no.1, pp.78-86
- Mossfika, E., Syukri, Aziz, H., 2020, 'Preparation of Activated Carbon from Tea Waste by NaOH Activation as A Supercapacitor Material', *Journal Aceh Physic Society*, vol.9, no.2, pp. 42-47
- N. Richana, N., Winarti, C., Hidayat, T., Prastowo, B., 2015, 'Hydrolysis of Empty Fruit Bunches of Palm Oil (*Elaeis Guineensis* Jacq.) by Chemical, Physical, and Enzymatic Methods for Bioethanol Production', *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, vol. 6, No. 6, pp.422-426
- Pagketananga, T., Artnaseawa, A., Wongwichaa, P., Thabuota, M., 2015, 'Microporous Activated Carbon from KOH-Activation of Rubber Seed-Shells for Application in Capacitor Electrode', *Energy Procedia* vol.79, pp.651 – 656
- Perdana, Y.A., Joni, R., Emriadi, Aziz, H., 2020, 'Pengaruh Aktivator KOH terhadap kinerja karbon aktif dari cangkang kelapa sawit sebagai elektroda superkapasitor', *Journal Aceh Physic Society*, vol 9, no 1, pp.13-19
- Rawal, S., Joshi, B., dan Kumar, Y., 2018 'Synthesis and characterization of activated carbon from the biomass of *Saccharum bengalense* for electrochemical supercapacitors', *Journal of Energy Storage*. Elsevier vol.20, pp.418–426
- Sharma, P., Kumar, V., 2018, 'A Brief Review on Supercapacitor', *Pramana Reaserch Journal*, vol..8, no.3, pp.50-55
- Taer, E., Afrianda, A., Taslim, R., Krisman, Minarni, Agustino, A., Apriwandi, A., Malik, U., 2018, 'The physical and electrochemical properties of activated carbon electrode made from *Terminalia Catappa* leaf (TCL) for supercapacitor cell application'. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1120: 012007

- Taer, E., Dewi, P., Sugianto, R., Syech, R., Taslim, Salomo, Purnama, Apriwandi, Agustino, Setiadi, 2018 'The Synthesis of Carbon Electrode Supercapacitor From Durian Shell Based on variations in the Activation Time', *In The 1st International Conference and Exhibition on Powder Technology Indonesia (ICePTi)*, AIP Conference Proceeding **1927**, 030026
- Taer, E., Taslim, R., Aini, Z., Hartati, S.D., Mustika, W.S., 2017, 'Activated carbon electrode from banana-peel waste for supercapacitor applications', *AIP Conference Proceedings*, 1801: 040004
- Taer, E., Mustika, W., S., Taslim, R., 2016, 'Pengaruh suhu aktivasi CO₂ terhadap kapasitansi spesifik elektroda karbon superkapasitor dari tandan kosong kelapa sawit', *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2016*, Vol. 5
- Tagreed, M.A.S., dan Mustafa, A., K., J., 2015, 'Preparation and Characterization of Graphene / PMMA Composite', *Chemical Engineering* vol., no.10, pp.902-909
- Tetra, O., N., Aziz, H., Emriadi, Wahyuni, H., Alif, A., 2016 'Performance of TiO₂-Carbon on Ceramic Template with Sodium Hydroxide Activation as Supercapacitor Electrode Materials', *Der Pharma Chemica*, Vol.8, pp.26-30
- Wen, L., Li, F., and Cheng, H.-M. 2016. Review: Carbon Nanotubes and Graphene for Flexible Electrochemical Energy Storage: from Materials to Devices. *Advanced Materials*. vol. 28, pp.4306-4337
- Xie, Y., and Feng, X., 2014, 'Electrochemical Flexible Supercapacitor Based on Manganese Dioxide-Titanium Nitride Nanotube Hybrid', *Electrochimica Acta*. vol. 120, pp. 273-283.
- Zheng, K., Li, Y., Zhu, M., Yu, X., Zhang, M., Shi, L., Cheng, J., 2017, 'The porous carbon derived from water hyacinth with well-designed hierarchical structure for supercapacitor', *Journal of Power Sources* vol.366, pp270-277.
- Zheng, K., Li, Y., Zhu, M., Yu, X., Zhang, M., Shi, L., 2017, "The porous Carbon Derived From Water Hyacinth with Well Designed Hierarchical Structure For Supercapacitors", *Journal of Power Sources* **336**, 270-277 (2017)