

STUDI PERBANDINGAN SIFAT ELEKTRODA SUPERKAPASITOR DARI ARANG AKTIF TEMPURUNG KELAPA BANYUWANGI DENGAN ACTIVATOR ASAM DAN BASA

*Eko malis¹, Rosyid Ridho¹, Qurrata Ayun¹, Reny E. S¹, Dimas P. B. S¹

¹Universitas PGRI Banyuwangi

*e-mail: malisgsn@gmail.com

Riwayat Article

Received: 23 September 2023; Received in Revision: 29 September 2023; Accepted: 29 September 2023

Abstract

Research has been carried out on the preparation of activated charcoal supercapacitor electrodes from coconut shells. making activated charcoal from coconut shells originating from the coast of Banyuwangi. Activated charcoal is treated on the surface area through several steps, namely carbonation and activation. Carbonation is carried out by pyrolysis, namely heating the coconut shell at a temperature of 750oC under aerobic conditions. Activation was carried out by comparing 2 chemical activators including hydrochloric acid and potassium hydroxide with concentrations of 5 mol/L each. This research focuses on the use of coconut shells as supercapacitor electrodes. Active carbon from coconut shells was chosen due to the best distribution of capacitance and area. Supercapacitors are more efficient energy stores compared to batteries. The electrode is made with an area of 1.5 cm x 1.5 mm. Surface characterization of activated carbon using iodometric titration, electrode characterization using voltammetry method. The maximum capacitor capacitance obtained was 15.59 F/g/S, SEM morphology showed a pore size of 8.457 μm , optimal iodine number of 2376.74.

Keywords: Activated Charcoal, Surface Area, Pyrolysis, Iodine Number, Supercapacitor

Abstrak

Telah dilakukan penelitian preparasi elektroda superkapasitor arang aktif dari tempurung kelapa. pembuatan arang aktif dari tempurung kelapa yang berasal dari pesisir pantai Banyuwangi. Arang aktif *ditreatment surface area* melalui beberapa Langkah yaitu karbonasi dan aktivasi. Karbonasi dilakukan dengan cara pirolisis yaitu memanaskan tempurung kelapa pada suhu 750°C pada kondisi aerob. Aktivasi dilakukan dengan membandingkan 2 activator kimia diantaranya asam klorida dan Kalium Hidroksida Dengan konsentrasi masing-masing 5 mol/L. Pada penelitian ini difokuskan pada pemanfaatan tempurung kelapa sebagai elektroda superkapasitor. Karbon aktif Dari tempurung kelapa dipilih disebabkan sebaran distribusi kapasitansi dan luas area terbaik. Supercapacitor merupakan penyimpan energi yang lebih efisien dibandingkan dengan baterai. Elektroda dibuat dengan Luas 1,5 cm x 1,5 mm. Karakterisasi Permukaan karbon aktif menggunakan titrasi *iodometri*, karakterisasi elektroda menggunakan metode voltametri. Kapasitansi kapasitor maksimum diperoleh 15,59 F/g/S, Morfologi SEM menunjukkan ukuran pori sebesar 8,457 μm , iod number optimal sebesar 2376,74.

Kata Kunci : Arang Aktif, Surface Area, Pyrolysis, Iod Number, Supercapacitor

1. Introduction

Banyuwangi merupakan daerah ujung timur pulau Jawa yang memiliki beragam kekayaan alam dengan bentang alam yang beragam pula. Salah satunya adalah pohon kelapa. Sebagai tanaman tropis kelapa dapat tumbuh subur hampir disemua keadaan tanah, baik di dataran tinggi maupun dataran rendah, termasuk pantai, . Menurut data statistik 2021 produksi kelapa di kabupaten Banyuwangi adalah 5132 ton/tahun Hasil samping dari buah kelapa yang dianggap sebagai limbah adalah tempurung kelapa dan sabut kelapa. Yang selama ini hanya digunakan sebagai bahan bakar tradisional untuk memasak. Padahal arang tempurung kelapa mempunyai manfaat yang sangat banyak, salah satunya dimanfaatkan karbon aktif. Dari sekian banyak bahan arang aktif, tempurung kelapa dipilih dikarenakan kandungan selulosa, hemiselulosa, lignin, karbon sangat tinggi dibandingkan bahan/ biomassa yang lain (iskandar 2012).

Arang aktif merupakan hasil perlakuan pemanasan/kalsinasi dengan suhu 400-700 °C dari biomassa dengan komposisi yang ditunjukkan pada table 1. Akibat penguraian akibat suhu tinggi, dapat dilihat kandungan terbesar adalah karbon (Rohmah & Redjeki, 2014). Arang aktif digunakan secara luas dalam berbagai bidang karena mempunyai ukuran dan distribusi nanopori yang seragam dan mempunyai rentang pH yang luas. Karakteristik arang aktif tergantung dari bahan baku yang dipakai, surface area, distribusi pori, serta zat aktivatornya. (Gisgis et al 2002).

Tabel 1.1 Kandungan Unsur Kimia Tempurung Kelapa

No.	Komponen	Persentase%
1	Karbon (C)	86,31
2	Oksigen (O)	21,92
3	Silika (Si)	0,23
4	Kalium (K)	1,41
5	Belerang (S)	0,52
6	Fosfor (P)	1,72

Sumber : A Variananto, 2014

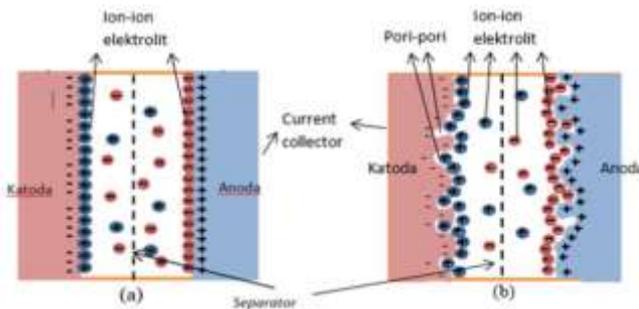
Tabel 2. Kandungan Tempurung Kelapa

No.	Komponen	Persentase%
1	Selulosa	26,6
2	Hemiselulosa	2,7
3	Lignin	29,4
4	Abu	0,6
5	Komponen Ekstraktif	4,2
6	Uronat Anhidrat	3,5
7	Nitrogen	0,1
8	Air	8,0

Sumber F. Agustiani, 2016

Dari beberapa penelitian sebelumnya karbon aktif dipergunakan secara luas antara lain, bahan penyerap, penyaring air, pemisahan gas, serta serat sintetik (Rosi et al, 2009). Hal yang menakjubkan dari proses kalsinasi dan aktivasi adalah terbentuknya anano pori yang berperan sebagai absorben (zat yang mempunyai kemampuan penyerapan yang baik), stabil pada teperatur tinggi (Rosi et al, 2009). *Surface area* dan porositas karbon aktif dapat digunakan sebagai elektroda di bidang elektrokimia, khususnya dalam hal teknologi penyimpan energi. Akibat adanya surface area tersebut menyebabkan anion dan kation menempel pada pada masing-masing permukaan elektroda seperti diilustrasikan pada gambar 2.

Dewasa ini dikembangkan teknologi untuk menyimpan energi yaitu baterai, sel bahan bakar dan kapasitor. Sel bahan bakar dan baterai kemampuan penyimpanan energi tinggi, tetapi memiliki kelemahan rapat daya rendah, sedangkan kapasitor mempunyai rapat daya tinggi tetapi kemampuan menyimpan energi rendah. Dari telaah tersebut diperlukan langkah cerdas untuk memperoleh perangkat penyimpan energi dan daya tinggi yaitu superkapasitor, (arrepalli et al 2005), (Zang et al 2009)



Gambar 1. Ilustrasi a) kapasitor, b) ilustrasi superkapasitor (K. Mensah-Darkwa et all 2019)

Superkapasitor mempunyai keunggulan kerana mempunyai Kemampuan rapat daya yang besar, disebabkan oleh luas permukaan yang besar dari material elektroda (Liu et all 2008)

Dari latar belakang diatas dilakukan modifikasi karbon aktif dari tempurung kelapa dengan aktivator asam dan basa sebagai bahan elektroda superkapasitor.

2. Methodology

2.1 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini alat yang dipergunakan antara lain peralatan gelas, cawan porselin, pengaduk magnetik ayakan ukuran 200 mesh, penangas air, statif, corong Buchner, peralatan gelas laboratorium, termometer, lumpang, neraca analitik labu semprot plastik, oven Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tempurung kelapa pesisir pantai Banyuwangi, akuades, Natrium tiosulfat, HCl, iodin 0,1 %, indikator amilum kawat tembaga, kawat platina, elektroda Ag/AgCl, elektroda Pt, natrium bikarbonat, natrium karbonat, natrium hidroksida, asam klorida, kertas saring Whatman, aluminium foil.

2.2 Preparasi karbon aktif tempurung kelapa

Tempurung kelapa yang kering dan bersih, dikarbonisasi dalam furnace selama 4 jam dengan suhu 750°C. Proses tersebut menghasilkan karbon. Karbon yang diperoleh didinginkan dalam desikator, digerus, dan diayak dengan pengayak 100 mesh.

Karbon yang telah kering direndam larutan KOH 5 M dengan perbandingan massa karbon dan KOH selama 3 jam. Setelah perendaman, karbon aktif yang diperoleh dibilas dengan larutan HCl 0,1 M sampai pH netral, kemudian dibilas kembali dengan aquades. Karbon aktif yang diperoleh dipanaskan lagi pada suhu 110°C (Chaitra dkk, 2016) (Hartono, Singgih & Ratnawati, 2010). Preparasi karbon dengan aktivator HCl 5M pelakuannya sama dengan aktivator KOH.

2.4 Perhitungan Kapasitansi Superkapasitor

Kapasitansi kapasitor merupakan kemampuan kapasitor untuk menyimpan muatan listrik, dengan kata lain kapasitansi kapasitor merupakan perbandingan tetap antara muatan Q yang mampu disimpan, dengan beda potensial pada anoda dan katodanya.

Secara sederhana dapat digambarkan pada persamaan :

$$C = \frac{Q}{V} \dots\dots\dots(1)$$

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana

C = Kapasitas kapasitor (farad)

V = beda potensial (volt)

Q = Muatan (Coulomb)

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$

A = luas penampang masing-masing keping (m^2)

d = jarak antar keping m

Pada penelitian ini penentuan kapasitansi kapasitor dilakukan dengan cara menghubungkan anoda dan katoda dengan Sumber tegangan 10 volt dan arus tetap I = 0,1 Ampere. Hasil pengukuran tegangan didata setiap 15 detik. data voltameter diperoleh dengan mengikuti peningkatan pengisian tegangan. Tegangan Superkapasitor mengindikasikan terisi penuh jika tidak ada peningkatan daya.

Karakterisasi

2.4.1 Titrasi iodometri

Penentuan distribusi pori ditentukan dengan metode iodometri (Turmuzi & Syaputra, 2015) dengan 0,5 gram karbon aktif ditimbang dan dikeringkan pada suhu 110°C selama 3 jam. Didinginkan dalam desikator. kemudian ditambahkan 5 ml larutan HCl pekat dan dipanaskan hingga mendidih. melarutkan iodin 50 mL 0,1 N. sebanyak 25 mL filtrat dititrasi dengan larutan natrium tiosulfat 0,1 N sampai warna kuning. Selanjutnya ditambahkan 1 ml indikator amilum 1% dan dititrasi kembali sampai larutan tidak berwarna. Daya serap iod dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$X/M = \frac{[A-(DF)(B)(S)]}{M} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

X/M = iodium yang diserap per gram (mg/g)

S = volume natrium tiosulfat (ml)

M = Masa karbon Aktif (g)

DF = Faktor Pengencer

A = Volume titrasi pengencer mL

B = Volume titrasi blanko mL

2.4.2 Preparasi Superkapasitor

bahan elektroda yang dipakai sebagai penyimpan superkapasitor yaitu Cu dan Al dengan dimensi (150 x 60) mm. Sebanyak 300 gram karbon aktif dicampur dengan 100 gram kalium hidroksida 1 mol/L agar karbon aktif berbentuk gel dan homogen ditambahkan dengan 60 gram lem karet, sehingga diperoleh pasta karbon aktif. Pasta karbon aktif dioleskan pada sebelah Elektroda Cu dan Al, keduanya ditempelkan dengan dipisahkan isolator kertas tulis bebas serat kayu.

3. Results and Discussion

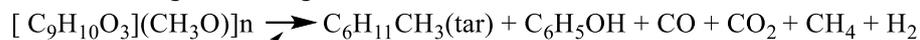
Karbonasi

Karbonasi dilakukan selama 4 jam pada suhu 750 °C Reaksi yang terjadi ketika terjadi ketika tempurung kelapa dikarbonasi (Maryono, Sudding dan Rahmawati (2013)). Karbonasi yang dilakukan dengan pirolisis menghasilkan hasil samping yaitu liquid smoke yang dapat dimanfaatkan di dalam berbagai bidang.

a. Reaksi Penguraian Selulosa



b. Reaksi Penguraian Lignin



c. Reaksi Umum Pembentukan senyawa Karbon



Pada proses ini temperature dan lama karbonasi sangat berpengaruh terhadap yield yang dihasilkan (rahmadani et all 2020). Semakin lama waktu karbonasi jumlah abu yang dihasilkan semakin banyak, serta zat yang teruapkan semakin banyak, (rawal et all 2018). Maka dari itu optimalisasi waktu dan temperature proses karbonasi sangat menentukan kinerja dari karbon aktif, serta gugus aktif yang berperan.

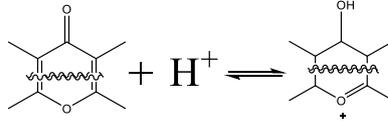
Aktivasi

Aktivasi bertujuan memperbesar, dan memperbanyak pori, membatasi pembentukan tar, menghilangkan endapan hidrokarbon, melindungi permukaan karbon dari proses oksidasi sehingga pembentukan abu bisa dikurangi. Aktivasi dilakukan dengan dengan mereaksikan karbon dengan senyawa asam, basa maupun garam yang dapat memutus ikatan karbon (Prabarini, N., & Okayadnya, D. (2014). Pada proses ini indicator kinerja karbon aktif dapat optimal jika diperhatikan beberapa hal pada saat aktivasi yaitu durasi perendaman, molaritas atau persentase zat pengaktif (activator) dan surface area karbon aktif (Goleman et all 2019).

aktivasi surface area dilakukan menggunakan asam pada permukaan arang aktif. Reaksi terjadi dikarenakan adanya interaksi H^+ dan gugus OH^- pada permukaan arang.. Berikut mekanisme reaksi asam-basa lewis yang terjadi :



dimana C_n adalah elektron n yang terdelokalisasi dalam sistem aromatik karbon

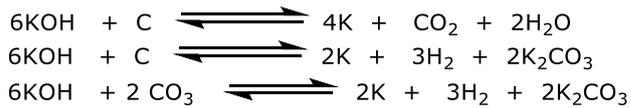


karbon akan kehilangan elektron dan menjadi bermuatan positif hingga Dengan adanya kedua reaksi ini, sehingga karbon akan menarik anion seperti molekul oksigen untuk dan membentuk gugus oksida.

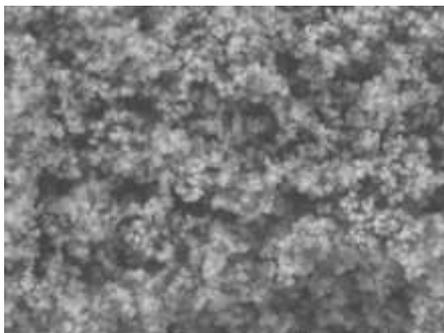


Gambar 4. morfologi arang aktif setelah diaktivasi

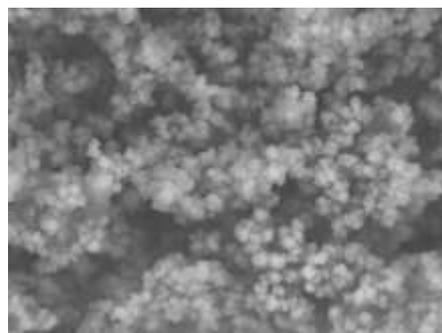
Setelah dikarbonasi langkah selanjutnya adalah mengaktivasi dengan aktivator, yaitu dengan mengaktivasi Kimiawi dengan KOH dapat dijelaskan dengan mekanisme reaksi berikut :



Dari reaksi diatas dapat digambarkan aktivasi menyebabkan gas karbondioksida distribusi sempurna pada permukaan karbon. Tahap reaksi berikutnya padatan acak karbon yang menghalangi pembentukan pori menjadi terbuka, sehingga karbon aktif siap digunakan. Aktivator juga berperan dalam menghilangkan pengotor yang menutup pori-pori dari karbon aktif, aktivator juga berperan dalam menurunkan kadar abu yang terikat pada pori-pori karbon aktif, abu akan hilang pada saat pembilasan.



a)



b)

Gambar 5. SEM karbon aktif dengan aktivator a) HCl4M b) KOH 4M

Ukuran dan distribusi pori tersebar secara merata baik menggunakan aktivator aktivator asam (HCl 4M) maupun aktivator basa (KOH 4M),selain itu waktu perendaman juga berpengaruh, makin lama proses ini menyebabkan jumlah kadar abu mengalami peningkatan, waktu perendaman

sesuai dengan yang telah dilakukan Suryani et al. (2018) yaitu 22 jam. Analisis Morfologi SEM menunjukkan ukuran pori sebesar $8,457 \mu m$

Pengukuran Bilangan iod

Pengukuran bilangan iod bertujuan mengetahui daya serap karbon aktif terhadap partikel terlarut (Suhendarwati et al. 2014), dan mikropori karbon aktif. Dari kedua aktivator yang digunakan dari tabel 3. Dapat diketahui bahwa baik aktivator asam maupun basa dapat menghasilkan distribusi pori dan luas permukaan karbon aktif yang baik sesuai dengan standar SII No 0258-88.

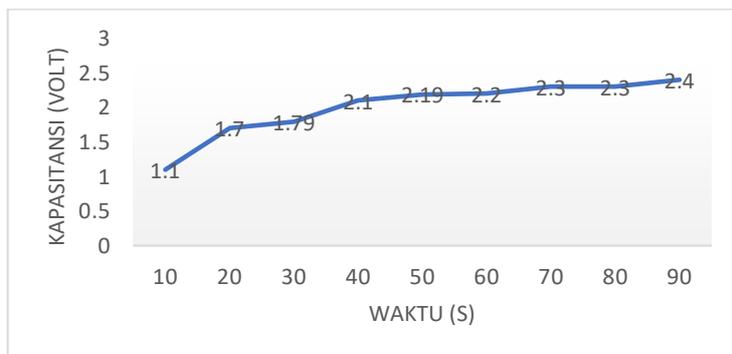
Tabel 3. Iod number kedua aktivator

No.	Aktivator	Konsentrasi	Iod number
1	HCl	4	2053,88
3	KOH	4	2376,74

Dari tabel 3 dapat diketahui bahwa kemampuan penyerapan iod dari kedua aktivator, adalah KOH 4 M lebih baik dibandingkan dengan HCl 4M, hal tersebut dimungkinkan karena KOH 4M memungkinkan terbentuknya lebih banyak mesopori (2–50 nm). Dibandingkan dengan mikropori (ukuran pori-pori < 2nm), dan makropori (>50nm). Secara garis besar mikropori tidak mendukung sebagai bahan elektroda dikarenakan akan menahan pengotor, dan sulit pada proses pembilasan, sedangkan ukuran pori pada makropori terlalu besar, sehingga analit, atau gugus kimia tidak terikat secara kuat mudah lepas dari elektroda.

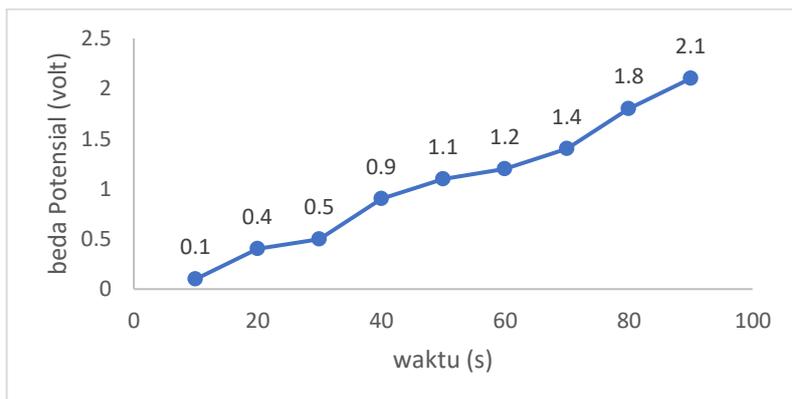
Kapasitansi kapasitor

Pada karakterisasi superkapasitor karbon aktif dari tempurung kelapa, kapasitansi diukur dengan arus listrik konstan 0,05 A dan beda potensial sebesar 12 Volt.



Grafik 1. Grafik hubungan antara waktu pengisian tegangan terhadap waktu dengan aktivator HCl 4 M

Dari perhitungan yang disajikan grafik 1. Dapat diketahui selama 90 sekon didapat beda potensial/tegangan yaitu 2,4 Volt, data tersebut diperoleh mulai kapasitor belum terisi sampai penuh.



Grafik 2. hubungan hubungan antara waktu pengisian tegangan terhadap waktu dengan aktivator KOH 4M

Dari grafik 2. Dapat diketahui bahwa dalam waktu pengisian 90 detik diperoleh daya sebesar 2.1 volt. Dari data dapat diketahui bahwa kapasitas dari superkapasitor sebesar 15,59 farad. Dibandingkan dengan penelitian rosi et all 2009 sebesar 39,8 F/g.

4. Conclusion

1. Dari penelitian dapat diketahui bahwa karbon aktif telah berhasil dipreparasi melalui langkah langkah kalsinasi dan aktivasi, aktivasi terbaik dalam penelitian ini adalah menggunakan KOH 4M.
2. Karbon aktif yang diperoleh mempunyai distribusi pori yang merata dan seragam sehingga karbon saktif tersebut sangat baik digunakan sebagai elektroda superkapasitor
3. Superkapasitor telah berhasil dipreparasi dengan kapasitansi maksimal sebesar 15,59 F/g/S
4. Karbon aktif yang akan diaktivasi baik dengan asam maupun basa secara kimia tidak berbeda signifikan, sehingga kedua activator dapat digunakan

References

- Andhika, R., 2015, Elektrodeposisi Logam Cu Pada Permukaan Karbon Aktif Sekam Padi Bebas Silika dengan Iradiasi ultrasonic Ultrasonik jurusan kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Universitas Hasanuddin Makasar
- Arepalli, S., Fireman, H., Huffman, C., Moloney, P., Nikolaev, P., Yowell, L., Higgins, C.D., Kim, K., Kohl, P.A., Turano, S.P., 2005, Carbon-nanotube Based Electrochemical Double Layer Capacitor Technologies for Space Flight Applications *Mater.*, 57, 26-31
- Chaitra, K. Vinny, R. T. Sivaraman, P. Narendra Reddy. Chunyan, Hu. Krishna, Venkatesh. Vivek, C. S. Nagaraju, N. Kathyayini, N. (2016). *Journal of Energy Chemistry*, 6(28), 1-7.
- Girgis, B.S. Samya, S.Y. Ashraf, M.S., 2002, Characteristic Of Activated Carbon From Peanut Hulls In Relation To Condition Of Preparation, *Materials Letters*, hal 57
- Goleman, D., Boyatzis, R., & Mckee, A. (2019). Karbon Aktif. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699
- Goncalves, M., Molina-Sabio, M., Rodriguez-Reinoso, F. (2010). *Modification of activated carbon hydrophobicity by pyrolysis of propene*. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 89, 17–21.

- Hartono, Singgih, Ratnawati. (2010). Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 12 (1), 12-16.
- Idrus, R., Lapanporo, B.P., & Putra, Y.G. 2013. Pengaruh Suhu Aktivasi terhadap Kualitas Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa. *Jurnal Prisma Fisika*, Vol. 1: 50-55.
- Iskandar.2012. *Analisis Unsur Karbon Aktif Tempurung Kelapa dengan Metode Analisis Ultimat (Ultimate Analysis)*. Jurnal Fisika
- K. Mensah-Darkwa, C. Zequine, P. K. Kahol dan R. K. Gupta, "Supercapacitor Energy Storage Device Using Biowastes: A Sustainable Approach to Green Energy," *Sustainability*, no. 11, p. 414, 2019
- Liu, Y., Hu, Z., Xu, K., Zheng, X., Gao, Q., 2008, Surface Modification and Performance of Activated Carbon Electrode Material, *ActaPhys. Chim. Sinica*, 24 (7), 1143-1148.
- Maryono, Sudding dan Rahmawati, 2013. Preparation and Quality Analysis of Coconut Shell Charcoal Briquette Observed by Starch Concentration. *Chemical*, 14(1), pp. 74-83.
- Prabarini, N., & Okayadnya, D. (2014). Penyisihan Logam Besi (Fe) pada Air Sumur dengan Karbon Aktif dari Tempurung Kemiri. *Envirotek : Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 5(2), 33-41. <http://eprints.upnjatim.ac.id/6807/>
- Ramadhani, L. F., Imaya M. Nurjannah, Ratna Yulistiani, & Erwan A. Saputro. (2020). Review: Teknologi Aktivasi Fisika pada Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Tempurung Kelapa. *Jurnal Teknik Kimia*, 26(2), 42-53. <https://doi.org/10.36706/jtk.v26i2.518>.
- Rawal, S., Joshi, B., & Kumar, Y. (2018). Synthesis and Characterization of Activated Carbon from The Biomass of Saccharum Bengalense for Electrochemical Supercapacitors. *Journal of Energy Storage*, 20, 418-426. <https://doi.org/10.1016/j.est.2018.10.009>.
- Rohmah, P.M. & Redjeki, A.S. 2014. Pengaruh Waktu Karbonisasi pada Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Baku Sekam Padi dengan Aktivator KOH. *Konversi*, Vol. 3: 19-27.
- Rosi, M., Abdullah, M., Khairurrijal. 2009. Sintesi Nanopori Karbon dari Tempurung Kelapa sebagai Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, ISSN 1979- 0880. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Suryani, D. A., Hamzah, F., & Johan, V. S. (2018). Variasi Waktu Aktivasi terhadap Kualitas Karbon Aktif Tempurung Kelapa. *Jom Faperta Ur*, 5(1), 1-10.
- Zhang, Y., Feng, H., Wu, X., Wang, L., Zhang, A., Xia, T., Dong, H., Li, X., Zhang, L., 2009, Progress of Electrochemical Capacitor Electrode Materials : A Review, *Int. J. Hydrogen Energy*, **34**, 4889-4899.