

Superkapasitor Dari Karbon Aktif Limbah Daun Teh Sebagai Bahan Elektroda

Nani Kurniawati dan Tri Surawan*

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Universitas Jayabaya, Jl. Raya Bogor Km. 28,8 Cimanggis Jakarta Timur.

*) *Corresponding author:* tri.surawan@gmail.com

(Received: 30 Oct 2020 • Revised: 18 Nov 2020 • Accepted: 20 Nov 2020)

Abstract

process. Supercapacitor electrodes derived from activated carbon have high power and energy capabilities due to their high surface area, high conductivity, and the ability of activated carbon to optimize their supercapacitor properties. The effect of the activation method, the type of activator, the type of electrolyte, the carbonation or pyrolysis process used will determine the power and energy density produced by the supercapacitor. In this case, the process of forming an electric double layer on the electrode surface and the effect of the type of electrolyte used on the supercapacitor performance was also reviewed. This research was done through some procedures such as tea leaf waste preparation, oven drainage with T 700 C within two hours of carbon, and activation milling with KOH and 5M solution. Supercapacitor from tea leaf waste material, which was activated with KOH 3M, had a capacitance of 5.45 Farads, and those which were activated with KOH 5M had a capacitance of 11.81 Farads.

Abstrak

Superkapasitor merupakan teknologi baru yang menjanjikan sebagai perangkat penyimpan energi listrik di masa depan. Hal ini dikarenakan bahan baku mudah didapat, murah harganya dan proses pembuatannya relatif sederhana. Elektroda superkapasitor yang berasal dari limbah daun teh sebagai bahan karbon aktif memiliki kemampuan daya dan energi yang tinggi karena memiliki luas permukaan yang tinggi, konduktivitas tinggi, dan kemampuan karbon aktif untuk mengoptimalkan sifat superkapasitornya. Pengaruh metoda aktivasi, jenis aktivator, jenis elektrolit, proses karbonasi atau pirolisis yang digunakan akan menentukan daya dan kerapatan energi yang dihasilkan oleh superkapasitor. Dalam hal ini juga ditinjau proses pembentukan lapisan rangkap listrik pada permukaan elektroda dan pengaruh jenis elektrolit yang digunakan terhadap kinerja superkapasitor. Penelitian ini melalui beberapa tahap. Persiapan bahan baku (Limbah dan teh), pengeringan dengan oven T 700 C waktu 2 jam menghasilkan arang karbon dilanjutkan penggilingan, terakhir aktivasi dengan larutan KOH 3M dan 5M. Superkapasitor dari bahan limbah daun teh yang diaktivasi dengan KOH 3M memiliki kapasitansi sebesar 5,45 Farad dan yang diaktivasi dengan KOH 5M memiliki kapasitansi sebesar 11,8 Farad.

Keywords: *activation, electrolyte, activated carbon, capacitance, supercapacitor*

PENDAHULUAN

Superkapasitor, sebagai alat penyimpan energi, telah digunakan secara luas pada bidang elektronik, seperti sistem telekomunikasi digital, komputer dan *pulse laser system*, *hybrid electrical vehicles*, dan sebagainya[1]. Superkapasitor memiliki banyak kelebihan dibanding dengan alat penyimpan energi yang lain seperti baterai. Dari sisi teknis, superkapasitor memiliki jumlah siklus yang relatif banyak (>100000 siklus), kerapatan energi yang tinggi, kemampuan menyimpan energi yang besar, prinsip yang sederhana dan konstruksi yang mudah[2,3]. Sedangkan dari sisi keramahan terhadap pengguna, superkapasitor meningkatkan keamanan karena tidak ada bahan korosif dan lebih sedikit bahan yang beracun.

Superkapasitor adalah salah satu sistem penyimpanan energi yang efisien yang dapat menyimpan energi melalui lapisan ganda listrik dan reaksi *faradic*[4]. Lapisan ganda listrik kapasitor (EDLC) menyimpan muatan di atas area permukaan aktif material dan menunjukkan kinerja yang sangat tahan lama dalam jangka waktu yang lama.[5] Jadi, menciptakan karbon dengan luas permukaan yang tinggi dapat menjadi salah satu cara untuk meningkatkan kinerja EDLC perangkat superkapasitor.

Karbon berpori sangat potensial untuk digunakan sebagai material elektroda superkapasitor karena memiliki potensi kerapatan energi yang tinggi, aksesibilitas pori yang baik, dan biaya pembuatan yang relatif murah[6]. Saat ini, material elektroda dari superkapasitor komersial menggunakan karbon berpori yang dibuat dari bahan alam yaitu tempurung kelapa. Untuk meningkatkan kapasitansi energi dari superkapasitor dapat dilakukan dengan menyiapkan material karbon berpori yang memiliki fraksi mesopori dan luas permukaan yang tinggi[7]. Karbon berpori dapat dibuat dengan cara karbonisasi bahan alami seperti batu bara, tempurung kelapa, bonggol jagung, kayu, bambu, limbah kertas[8], atau bahan sintesis seperti phenol formaldehyde, polianiline, melamine formaldehyde, [10].

Bahan sintesis kualitasnya lebih homogen dan dapat dimanipulasi struktur molekulnya sehingga dapat diperoleh karbon berpori yang lebih beragam ukuran porinya dan dapat diperoleh luas permukaan yang lebih tinggi meskipun tanpa penambahan zat tertentu[9]. Oleh karena itu, banyak penelitian yang menggunakan bahan sintesis dengan memanipulasi struktur polimer dan penggunaan zat tertentu agar diperoleh karbon berpori yang berkualitas baik yang nantinya akan digunakan sebagai elektroda material superkapasitor.

Baterai dan superkapasitor adalah teknologi sistem penyimpanan energi listrik terkemuka saat ini. Keduanya didasarkan pada mekanisme elektrokimia. Baterai menyimpan energi listrik dalam senyawa kimia yang mampu menghasilkan muatan, sedangkan superkapasitor menyimpan energi listrik secara langsung sebagai muatan. Peneliti di dalam [11] mengemukakan bahwa dalam beberapa tahun terakhir, superkapasitor sangat menarik perhatian dalam teknologi penyimpanan energi listrik karena memiliki kerapatan energi yang lebih tinggi dibandingkan kapasitor konvensional dan kerapatan daya yang lebih tinggi dibandingkan baterai. Keuntungan lain dari superkapasitor adalah tingkat pengisian yang cepat dan umur siklus pengisian yang panjang[12].

Bahan karbon merupakan bahan yang paling banyak menarik minat para peneliti dalam pembuatan elektroda superkapasitor karena memiliki luas permukaan yang tinggi dan mudah didapat [20]. Dalam beberapa tahun terakhir, ada peningkatan minat dalam produksi karbon aktif dari limbah hayati untuk pembangunan berkelanjutan. Beberapa sumber limbah hayati seperti hewan, mineral, tumbuhan, sayuran dan lain-lain telah dilaporkan dalam literatur sebagai bahan dasar produksi karbon aktif untuk aplikasi sebagai bahan elektroda untuk sistem energi elektrokimia. Beberapa jenis elektroda telah dicoba dan sistem yang paling umum saat ini dibangun di atas kapasitor elektrokimia lapis ganda yang berbasis

karbon, memiliki elektrolit organik, dan mudah dibuat. Peneliti di dalam [13] berfokus pada preparasi karbon berpori berbasis tempurung kelapa dengan rasio mikro/mesopori yang dapat disesuaikan untuk aplikasi superkapasitor performa tinggi. Nilai kapasitansi spesifik ag diperoleh berkisar antara 209-228 F/g tergantung pada aktivasi, laju aliran air, dan waktu aktivasi. Peneliti di dalam [14] menyiapkan karbon aktif dari serabut kelapa dengan struktur berongga multi-tubular menggunakan KOH untuk aktivasi. Sampel dengan rasio massa KOH 4 : 1 terhadap serabut kelapa yang dikarbonisasi menunjukkan elektroda supercapacitor yang disiapkan (dengan elektrolit 6M KOH) menunjukkan kapasitansi spesifik 266 F/g. Peneliti didalam [15] menggunakan residu tongkol jagung untuk menyiapkan karbon berpori sebagai elektroda superkapasitor, menggunakan metode aktivasi uap ramah lingkungan dan murah. Karbon yang diperoleh pada 850 °C, yang selanjutnya diolah dengan penghilangan abu dan perendaman asam menunjukkan kapasitansi spesifik 314 F/g. Fu et al. [16] memperoleh karbon berpori multi-hierarki dari limbah cangkang kepiting. Karbon berpori menunjukkan kapasitas spesifik 322,5 F/g dan 223,4 F/g. Peneliti didalam [17] memanfaatkan limbah kulit singkong sebagai prekursor dalam pembuatan elektroda berbasis karbon aktif. Aktivasi karbon dibuat melalui kombinasi metode kimia dan fisika dan permukaannya dimodifikasi dengan bahan kimia pengoksidasi (H_2SO_4 , HNO_3 dan H_2O_2). Mereka melaporkan kapasitansi spesifik dari sampel ini adalah 153 F/g. Peneliti di dalam [18] melaporkan keberhasilan persiapan karbon aktif yang didoping nitrogen dari kulit jeruk. Dengan menggunakan 6 M KOH sebagai elektrolit, mereka memperoleh kapasitansi spesifik 167 F/g. Dan masih banyak peneliti lain yang mengamati potensi biomassa sebagai bahan untuk elektroda superkapasitor.

Pada penelitian ini, dibuat rancang bangun superkapasitor yang menggunakan bahan limbah daun teh dengan bahan kolektor alumunium dan tembaga karena kedua bahan tersebut memiliki konduktivitas yang tinggi dengan harga yang relatif murah..

METODE PENELITIAN

Pembuatan Arang Aktif Berbahan Limbah Daun Teh.

Sampel daun teh dijemur di bawah sinar matahari hingga kering, kemudian dimasukkan ke dalam tungku pemanas pada suhu 700 °C selama 1 jam hingga menjadi arang. Arang dikeluarkan dari tungku kemudian didiamkan hingga mencapai suhu ruang. Arang daun teh ini ditumbuk dengan mortar penumbuk sampai menjadi sangat halus. Kemudian disiapkan larutan 3M KOH dan 5M KOH pada wadah plastik dan serbuk arang daun teh dimasukkan ke wadah-wadah tersebut sampai semua arang terendam sempurna dan dikocok. Diamkan selama 24 jam agar larutan KOH meresap pada arang daun teh. Setelah 24 jam direndam dalam larutan KOH, disaring dengan kain rapat diambil arangnya, kemudian dibakar pada tungku bersuhu 1200 °C selama 5 menit dan didinginkan kemudian diukur apakah hasil pembakaran sudah memiliki konduktivitas atau belum. Jika belum, diulangi pembakaran lagi sampai memiliki konduktivitas tertentu. Arang yang sudah memiliki konduktivitas berarti sudah menjadi arang aktif. Pengukuran konduktivitas dilakukan dengan peralatan multimeter. Serbuk arang aktif ditumbuk kembali dengan mortar penumbuk, dicuci dengan larutan HCl 1 M dan air deionisasi sampai mencapai pH 7. Arang aktif daun dikeringkan pada suhu 60 °C selama semalam.

Pembuatan Superkapasitor.

Material yang digunakan sebagai kolektor superkapasitor adalah tembaga dan alumunium ukuran panjang 150 mm dan lebar 60 mm. Serbuk arang aktif 150 g dicampur

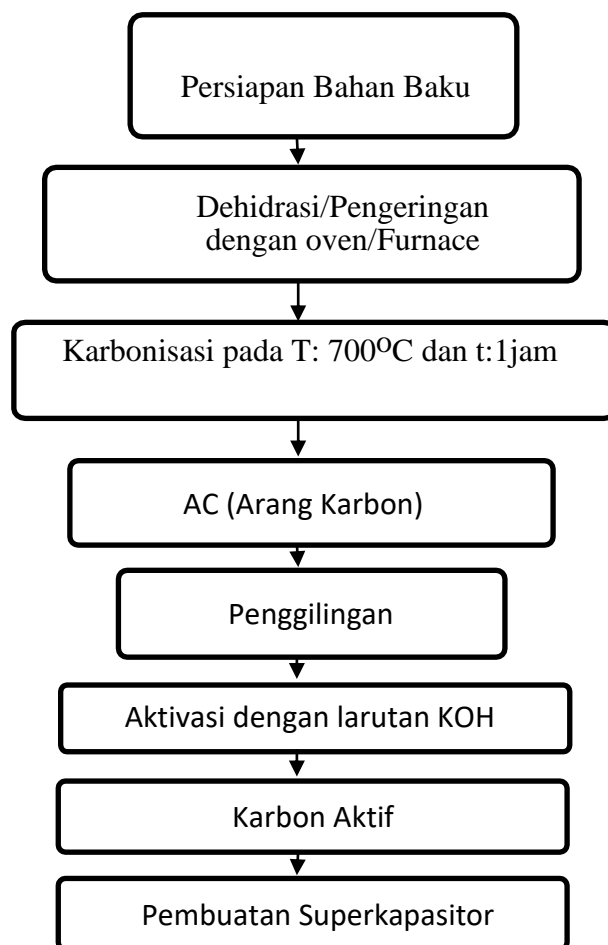
dengan KOH 1 M 50 g dan perekat lem *rubber cement* 30 g, kemudian diaduk sampai merata sehingga berwujud pasta. Permukaan sebelah kolektor tembaga dan aluminium masing-masing diolesi arang aktif yang berwujud pasta tersebut, kemudian kedua permukaan kolektor yang sudah dilapisi arang aktif, dibatasi kertas HVS, dan ditempelkan satu sama lain. Ditekan sedikit supaya menempel dengan sempurna. Maka, superkapasitor sudah siap diisi energi listrik.

Proses Pengisian dan Perhitungan Kapasitansi dan Energi Superkapasitor.

Proses pengisian superkapasitor dilakukan dengan menghubungkan kedua kolektor dengan sumber tegangan (*power supply*) agar superkapasitor terisi energi listrik. Sumber tegangan diatur dari power supply pada tegangan 10 volt dan arus tetap $I = 0,1$ A dan tegangan pada superkapasitor diukur dengan voltmeter yang meningkat mengikuti proses pengisian. Hasil pengukuran voltmeter dicatat setiap 10 sekon. Apabila tegangan pada superkapasitor sudah tidak meningkat lagi, berarti superkapasitor sudah terisi penuh.

Diagram Alir Pembuatan Superkapasitor

Proses pembuatan Superkapasitor mengikuti diagram alir pada Gambar 1.

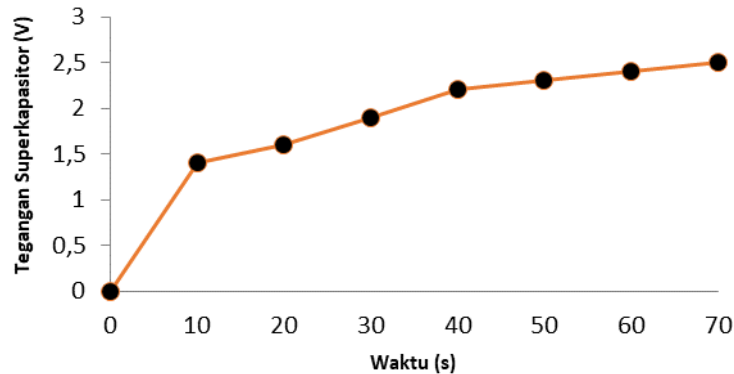


Gambar 1. Diagram Alir Proses Pembuatan Superkapasitor

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan Kapasitansi Superkapasitor dengan Aktivasi KOH 3M

Pada pengukuran superkapasitor dari limbah daun teh ini digunakan arus listrik sebesar 0,1A dan tegangan sebesar 15V. Pengukuran pengisian superkapasitor dengan aktivasi KOH 3M dari kosong sampai penuh menghasilkan data seperti pada Gambar 2.

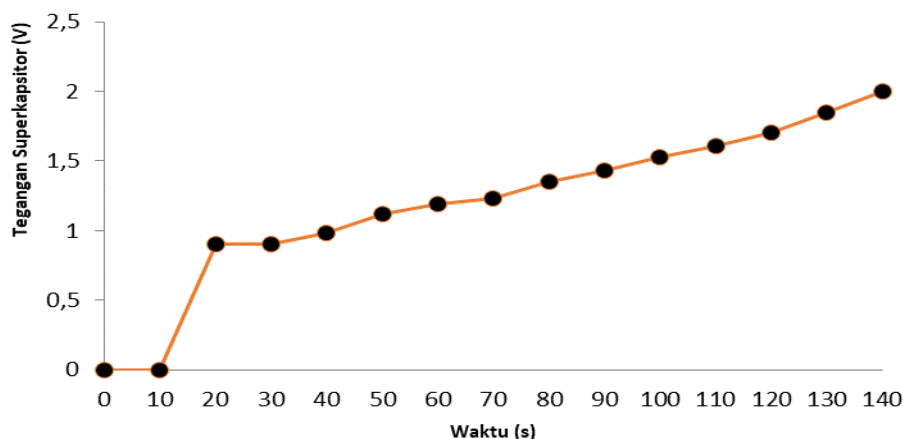


Gambar 2. Grafik pengisian superkapasitor dari limbah daun teh dengan aktivasi KOH 3M

Dari data-data pengukuran di atas diperoleh tegangan akhir = 2,5 V selama waktu 60 sekon. Berdasarkan perhitungan, superkapasitor tersebut memiliki kapasitansi sebesar 5,45 Farad. Sehingga energi dari superkapasitor tersebut sebesar $4,72 \times 10^{-3}$.

Hasil Perhitungan Kapasitansi Superkapasitor dengan Aktivasi KOH 5M

Pada pengukuran superkapasitor dari limbah daun teh ini digunakan arus listrik sebesar 0,1A dan tegangan sebesar 15V. Pengukuran pengisian superkapasitor dengan aktivasi KOH 5M dari kosong sampai penuh menghasilkan data seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik pengisian superkapasitor dari limbah daun teh dengan aktivasi KOH 5M

Dari data-data pengukuran di atas diperoleh tegangan akhir adalah 2,00 V selama waktu 130 sekon. Berdasarkan perhitungan, superkapasitor tersebut memiliki kapasitansi sebesar 11,8 Farad. Sehingga energi dari superkapasitor tersebut sebesar $6,56 \times 10^{-3}$ Wh.

Salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat keefektifan superkapasitor adalah penggunaan bahan elektroda. Karbon aktif adalah salah satu jenis bahan yang secara luas

telah digunakan sebagai bahan elektroda untuk superkapasitor karena memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi, ketahanan kimia, konduktivitas listrik yang baik dan harga yang terjangkau [19]. Selama proses perendaman arang bio-massa dengan bobot KOH yang kecil, sebagian besar KOH meresap ke bagian dalam arang. Oleh karena itu, pada saat aktivasi pori yang terbentuk pada permukaan arang relatif kecil. Perendaman arang bio-massa dengan bobot KOH yang lebih besar menyebabkan sebagian KOH melapisi permukaan arang dan pada bagian dalam arang terisi penuh KOH [20]. Hal ini menyebabkan pori yang terbentuk pada permukaan maupun bagian dalam arang meningkat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pembuatan superkapasitor dari bahan limbah daun teh yang sudah diolah menjadi karbon aktif, disimpulkan bahwa superkapasitor berbahan limbah daun teh yang diaktivasi dengan KOH 3M memiliki kapasitansi sebesar 5,45 Farad dengan tegangan 2,5 V dan yang diaktivasi dengan KOH 5M memiliki kapasitansi sebesar 11,81 Farad dengan tegangan 2,0 V. Pada pengukuran superkapasitor ini diberikan arus listrik yang kecil, karena superkapasitor buatan hanya mampu menahan arus listrik dengan nilai yang kecil, sedangkan superkapasitor yang ada di pasaran mampu menahan arus listrik yang tinggi hingga 1 Ampere. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa tegangan dan kapasitansi superkapasitor dipengaruhi oleh konsentrasi larutan aktivator KOH yang digunakan. Selain itu, proses pengisiannya superkapasitor tidak membutuhkan waktu yang lama, bahkan tidak memerlukan hitungan jam untuk mengisi superkapasitor agar sampai ke tegangan maksimalnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya pada Fakultas Teknologi Industri Universitas Jayabaya karena telah memberikan dukungan dana sepenuhnya untuk kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Zhu, H. Hu, W. Li and X. Zhang , "Resorcinol Formaldehyde Based Porous Carbon as an Electrode Material for Supercapacitors," *J. Carbon*, vol. 45, no. 1, pp. 160-165, 2007.
- [2] K. H. An, W. S. Kim, Y. S. Park and Y. C. Choi, "Supercapacitors Using Single-Walled Carbon Nanotube Electrodes," *Adv, Mater*, vol. 13, no. 7, pp. 497-500, 2001.
- [3] A. K. Shukla, S. Sampath and K. Vijayamohanan, "Electrochemical Supercapacitors: Energy Storage Beyond Batteries," *Current Science*, vol. 79, no. 12, pp. 1656 - 1661, 2000.
- [4] T. Surawan and P. S. Priambodo, "Supercapacitor Based On Active Carbon Electrode," in *6th International Conference on Quality in Research (QIR): International Symposium on Electrical and Computer Engineering*, 2019.
- [5] K. Mensah-Darkwa, P. K. Kahol, R. K. Kahol, and S. Bhoyate, "Recent

- Development on Nanocomposites of Graphene for Supercapacitor Applications," *Current Graphene Science*, vol. 1, no. 1, pp. 26-43, 2017.
- [6] S. D. Dietz and Nguyen, "Mesoporous Carbon Electrodes for Double Layer Capacitors," in *Service and Manufacturing Grantees and Research Conference*, Tampa, 2002.
- [7] Z. Zhu, H. Hu, W. Li and X. Zhang , "Resorcinol Formaldehyde Based Porous Carbon as an Electrode Material for Supercapacitors," *J. Carbon*, vol. 45, no. 1, pp. 160-165, 2007.
- [8] N. R. Khalili, M. Campbell, G. Sandi and Golas, "Production of Micro- and Mesoporous Activated Carbon from Paper Mill Sludge; Effect of Zinc Chloride Activation," *Carbon*, vol. 38, no. 1, pp. 1905-1915, 2000.
- [9] L. Zhang, H. Liu , M. Wang and L. Chen, "Structure and Electrochemical Properties of Resorcinol–Formaldehyde Polymer-Based Carbon for Electric Double-Layer Capacitors," *Carbon*, vol. 45, no. 1, pp. 1439-1445, 2009.
- [10] K. Lenghaus, G. G. Qiao, D. H. Solomon and C. Gomez, "Controlling Carbon Microporosity: The Structure of Carbons Obtained from Different Phenolic Resin Precursors," *Polymer Science Group*, vol. 40, no. 5, pp. 743-749, 2001.
- [11] L. Yueming, Z. M. van , S. Chiang S and N. Pan , "KOH Modified Graphene Nanosheets for Supercapacitor Electrodes," *Journal of Power Sources*, vol. 196, no. 1, pp. 6003-6006, 2011.
- [12] M. Zuleta , P. Bjornbom and A. Lundblad , "Effects of Pore Surface Oxidation on Electrochemical and Mass-Transport Properties of Nanoporous Carbon," *Journal of The Electrochemical Society*, vol. 152, pp. 270-276, 2005.
- [13] V. Ruiz, C. Blanco, M. Granda and R. Menender, "Influence of electrode preparation on the electrochemical behaviour of carbon-based supercapacitors," *J Appl Electrochem*, vol. 37, pp. 717-712, 2007.
- [14] J. Mi, X. R. Wang, R. J. Fan, W. H. Qu and W. C. Li, "Coconut-shell-based porous carbons with a tunable micro/mesopore ratio for high-performance supercapacitors," *Energy Fuels*, vol. 26, p. 5321–5329., 2012.
- [15] L. Yin, Y. Chen, D. Li , X. Zhao, B. Hou and Cao, "3-Dimensional hierarchical porous activated carbon derived from coconut fibers with high-rate performance for symmetric supercapacitors," *J. Mater*, vol. 111, p. 44–50, 2016.
- [16] W. H. Qu, Y. Y. Xu, A. H. Lu, X. Q. Zhang and Li, "Converting biowaste corncob residue into high value added porous carbon for supercapacitor electrodes," *Bioresour. Technol*, vol. 189, p. 285–291, 2015.
- [17] M. Fu, W. Chen, X. Zhu , B. Yang and Q. Liu, "Crab shell derived multi-hierarchical carbon materials as a typical recycling of waste for high performance supercapacitors," *J. Carbon*, vol. 141, pp. 748-757, 219.
- [18] A. E. Ismanto , S. Wang, F. E. Soetaredjo and F. E. Ismadji, "Preparation of capacitor's electrode from cassava peel waste," *Bioresour. Technol.*, vol. 101, p. 3534–3540., 2010.
- [19] H. Aripin , . L. Lestari, D. Ismail and S. Sabchevski , "Sago Wasted Based Activated

Carbon Film as an Electrode Material for Electric Double Layer Capacitor," *The Open Materials Science Journal*, vol. 4, pp. 117-124, 2010.

- [20] R. L. Tseng and R. K. Tseng , "Pore structure and adsorption performance of the KOH Activated Carbon Prepared from Corncob," *J Colloid Interf Science*, vol. 287, pp. 428-37, 2005.