

Potensi Rotan sebagai Elektroda Karbon Aktif Monolit untuk Aplikasi Superkapasitor

Widya Sinta Mustika^{1*}, Erman Taer², Apriwandi², Agustino², Rika Taslim³

¹ Program Studi Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Kampar, Riau, Indonesia

² Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau, Riau, Indonesia

³ Jurusan Teknik Industri Fakultas Sain dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Qasyim, Riau, Indonesia

ARTICLE INFO

Riwayat Artikel:

Draft diterima: 25 Maret 2023

Revisi diterima: 13 April 2023

Diterima: 14 April 2023

Tersedia Online: 30 April 2023

Corresponding author:

widyasintam@gmail.com

ABSTRAK

Rotan merupakan salah satu produk hutan utama, dengan ketersediaan yang cukup berlimpah. Struktur rotan yang terdiri dari gugus polimer (selulosa, hemiselulosa dan lignin) menjadikan rotan berpotensi sebagai karbon aktif. Pemanfaatan rotan sebagai karbon aktif adalah upaya untuk mengkonversi bahan biomassa menjadi produk bernilai ekonomi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan karbon aktif monolit tanpa bahan perekat sebagai elektroda superkapasitor. Bahan baku rotan dikonversi menjadi karbon aktif monolit melalui proses karbonisasi (N_2 , 600 °C) dan aktivasi fisika (CO_2 , 850 °C) yang terintegrasi. Kemampuan karbon aktif monolit rotan sebagai elektroda superkapasitor ditinjau melalui sifat elektrokimia menggunakan *cyclic voltammetric* (CV). Penelitian ini berhasil mengubah rotan menjadi elektroda karbon aktif monolit tanpa bahan perekat, dengan kemampuan elektrokimia sebesar 104 F g⁻¹ dengan laju pemindaian 1 mV s⁻¹, menggunakan konfigurasi elektroda lapisan ganda dengan elektrolit 1 M H₂SO₄. Elektroda karbon aktif monolit rotan juga menunjukkan densitas sebesar 1,04 g cm⁻³, yang menunjukkan potensi kehadiran struktur pori yang baik.

Kata kunci: elektroda karbon, karbon aktif, monolit, rotan, superkapasitor

ABSTRACT

Rattan is one of the main forest products, with abundant availability. The structure of rattan which consists of polymer groups (cellulose, hemicellulose and lignin) makes rattan a potential activated carbon. Utilization of rattan as activated carbon is means to convert biomass materials into products of economic value. The aim of this research is to produce monolithic activated carbon without adhesives as an electrode supercapacitor. The raw material of rattan is converted into monolithic activated carbon through integrated carbonization (N_2 , 600 °C) and physical activation (CO_2 , 850 °C) processes. The performance of monolith activated carbon based rattan as a supercapacitor electrode was evaluated through its electrochemical properties using cyclic voltametric (CV). This study has successfully converted rattan into an electrode of activated carbon monolith without adhesive, with an electrochemical capacity of 104 F g⁻¹ at a scan rate of 1 mV s⁻¹, apply an electrode configuration of double layer with electrolyte of 1 M H₂SO₄. The electrode based activated carbon monolith from rattan also showed a density of 1.04 g cm⁻³, indicating the potential presence of a good pore structure.

Keywords: carbon electrode, activated carbon, monolith, rattan, supercapacitor

1. PENDAHULUAN

Rotan merupakan salah satu produk utama hutan, selain kayu dan bambu. Ketersediaan rotan cukup berlimpah, dimana Indonesia menyediakan 85% kebutuhan bahan baku rotan dunia. Indonesia menghasilkan sekitar 622 ribu ton rotan per tahun,

umumnya dihasilkan dari pulau Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Papua [1]. Sejah ini, jenis produk hasil olahan rotan masih terbatas, umumnya rotan diolah menjadi kerajinan tangan seperti perabot [2] dan perkakas rumah tangga lainnya [3,4], lampu hias [5] dan souvenir[6]. Oleh karena itu, sebuah langkah strategis diperlukan untuk meningkatkan nilai tambah pada rotan sehingga memberikan nilai ekonomi.

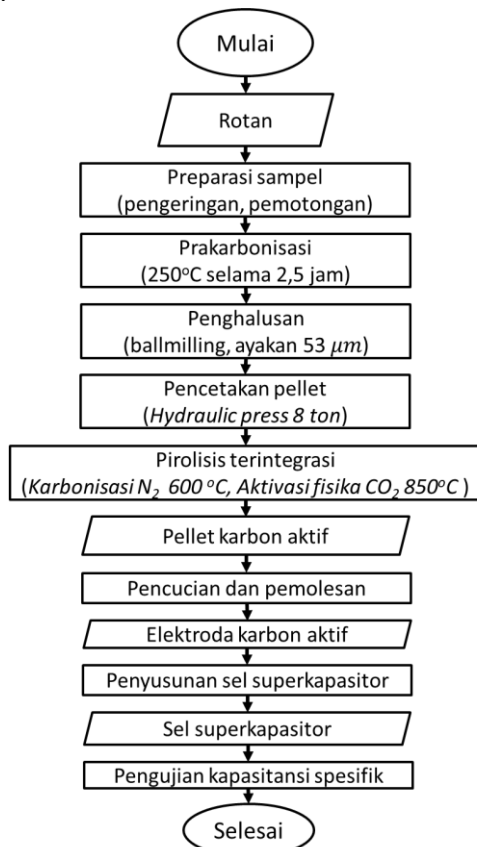
Rotan telah dimanfaatkan sebagai elektroda superkapasitor melalui pembuatan karbon aerogel. Namun, pembuatan aerogel tidak dapat dilakukan pada suhu dan tekanan atmosfer normal. Selain itu, karbon aerogel dihasilkan dalam bentuk *foam* sehingga bahan perekat masih dibutuhkan untuk penyusunan elektroda superkapasitor [7]. Elektroda tanpa perekat atau monolit memiliki beberapa keuntungan yaitu, bersifat *free standing*, memiliki kekuatan mekanik dan konduktivitas listrik yang tinggi [8]. Selain itu, eliminasi bahan perekat akan memastikan proses penyediaan elektroda dengan penggunaan bahan kimia yang minim, sehingga dapat mendukung penyediaan piranti penyimpan energi yang ekonomis dan ramah lingkungan.

Elektroda superkapasitor dari karbon aktif monolit telah banyak dikembangkan, dengan pemilihan berbagai bahan biomassa, seperti kayu [9], dan bambu [10,11]-. Selain itu, struktur rotan terdiri dari gugus polimer yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin, yang mengandung rantai karbon [7]. Oleh karena itu, rotan dapat dijadikan bahan baku untuk karbon aktif sebagai elektroda superkapsitor untuk piranti penyimpan energi.

Oleh karena itu, untuk pertama kali, rotan dimanfaatkan sebagai bahan baku karbon aktif monolit sebagai elektroda superkapasitor. Pada tulisan ini, dibahas proses pembuatan elektroda superkapasitor yang meliputi persiapan bahan baku, pencetakan monolit, karbonisasi dan aktivasi yang terintegrasi. Selanjutnya, juga dilakukan pengujian sifat elektrokimia superkapasitor. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan elektroda karbon aktif berbahan baku rotan tanpa bahan perekat. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi alternatif bahan penyimpan energi serta meningkatkan nilai ekonomis rotan.

2. METODE PENELITIAN

Pembuatan karbon aktif dari rotan sebagai elektroda untuk aplikasi piranti penyimpan energi dilakukan dalam beberapa tahapan, yang ditunjukkan pada **Gambar 1**.



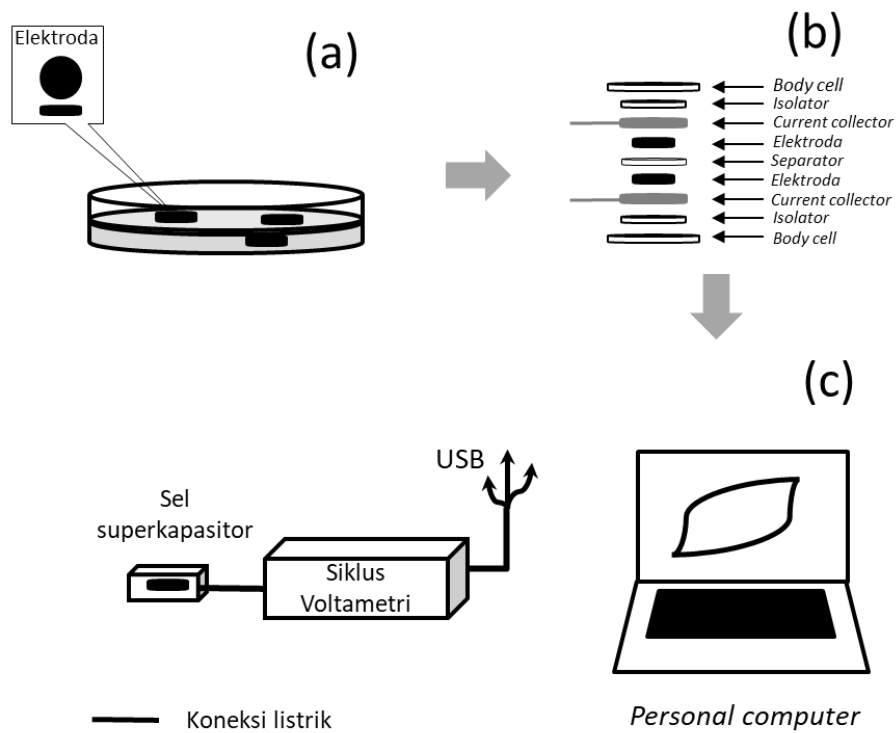
Gambar 1. Diagram alir penelitian

Tahap pertama yaitu preparasi sampel, bahan baku rotan diperoleh dari Riau, Indonesia, kemudian rotan dijemur dibawah terik matahari dan dibersihkan. Selanjutnya, rotan di potong seperti balok kecil dengan dimensi 0,5 x 0,3 x 1 cm³ dan dikeringkan di dalam oven. Kemudian, potongan rotan di melalui proses- prakarbonisasi menggunakan oven listrik mulai suhu ruang hingga suhu maksimum 250°C dalam waktu 2,5 jam, mengikuti prosedur pada eksperimen sebelumnya [12]. Proses prakarbonisasi

dilakukan dengan kondisi minim oksigen, sehingga potongan rotan berubah menjadi karbon hijau. Selanjutnya, potongan karbon hijau dihaluskan dengan *ballmilling* untuk memperoleh bentuk serbuk, kemudian dilakukan pengayakan untuk memperoleh ukuran serbuk yang homogen $53 \mu\text{m}$.

Tahapan selanjutnya adalah pencetakan pellet karbon monolit. Serbuk homogen karbon hijau rotan dicetak membentuk pellet dengan diameter rata-rata $2,00 \text{ cm} \pm 0,27 \text{ cm}$, menggunakan *hydraulic press* dengan massa pembebanan 8 ton. Kemudian, Pelet karbon hijau melalui proses- pirolisis yang terintegrasi antara proses karbonisasi ($600 \text{ }^\circ\text{C}$) dan aktivasi fisika ($850 \text{ }^\circ\text{C}$). Pirolisis dilakukan menggunakan tabung furnace yang dialiri gas dengan kecepatan aliran konstan, yaitu gas N_2 untuk proses karbonisasi dan gas CO_2 untuk proses aktivasi fisika. Proses pirolisis menghasilkan karbon aktif rotan. Untuk mendapat produk elektroda, pelet karbon aktif dipoles dan dicuci dengan air suling hingga pH netral.

Untuk menunjukkan kemampuan pellet karbon aktif sebagai elektroda sel superkapasitor, dilakukan pengujian kapasitansi spesifik, yang diberikan pada **Gambar 2**. Pelet karbon aktif direndam kedalam larutan elektrolit asam sulfat (H_2SO_4 , 1 M) selama 2×24 jam. Selanjutnya, pellet karbon aktif disusun menjadi sel superkapasitor dengan metode lapisan ganda seperti pada penelitian sebelumnya [10,12]. Sel superkapasitor terdiri dari *body cell* (akrilik), isolator (teflon), pengumpul arus (*stainless steel*), elektroda (karbon aktif rotan), dan isolator (membran kulit itik). Kemudian, sel superkapasitor diuji dengan siklus voltametri untuk memperoleh perubahan rapat arus terhadap tegangan. Nilai kapasitansi spesifik dihitung dengan persamaan umum untuk superkapasitor lapisan ganda.



Gambar 2. Pengujian kapasitansi spesifik, a) perendaman elektrolit, b) penyusunan sel superkapasitor, c) pengujian siklus voltametri

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Susut Massa

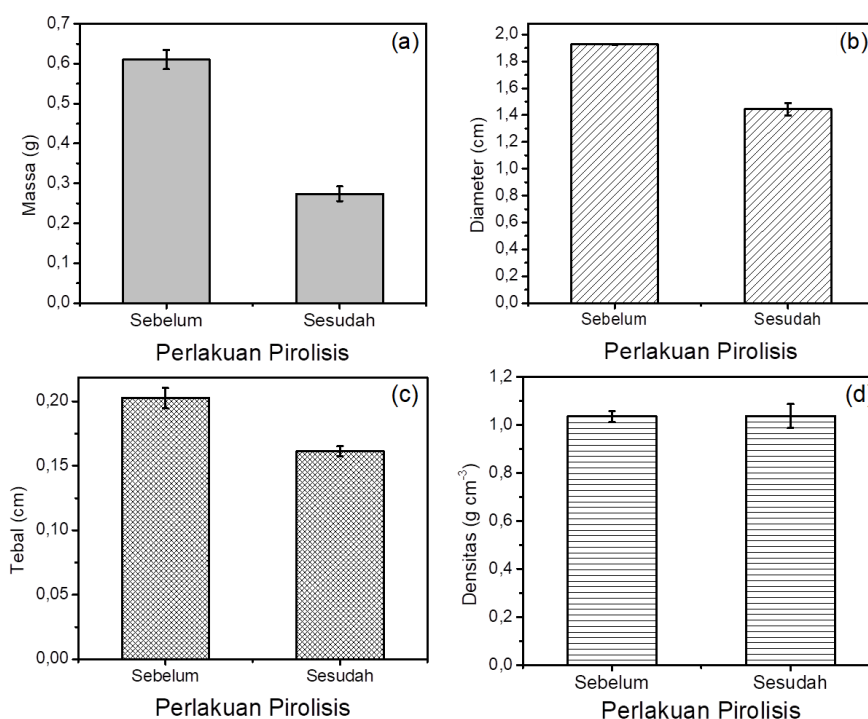
Susut massa adalah kehilangan massa yang disebabkan oleh proses pemanasan pada permukaan spesimen[13]. Nilai susut massa diperoleh dari perbandingan massa akhir terhadap massa awal pada proses pra-karbonisasi. Data susut massa disajikan pada **Tabel 1**, yang menunjukkan susut massa rata-rata sebesar 24,47%. Susut massa terjadi akibat penguraian air dan pada saat pemanasan. Nilai susut massa dari proses prakarbonisasi <30% menunjukkan bahwa biomassa memiliki sifat swa-merekat, sehingga biomassa berpotensi untuk dijadikan karbon aktif monolit tanpa perekat.

Tabel 1. Susut massa bahan baku biomassa dari rotan

| Percobaan ke | Massa awal (g) | Massa akhir (g) | Susut Massa (%) |
|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 30,02 | 22,78 | 24,12 |
| 2 | 30,03 | 22,63 | 24,64 |
| 3 | 30,10 | 22,70 | 24,58 |
| Rata-rata | 30,05 | 22,70 | 24,47 |
| Deviasi | 0,04 | 0,08 | 0,29 |

Massa, Dimensi dan Densitas

Massa, dimensi (diameter dan tebal), dan densitas dihitung terhadap pellet karbon aktif, sebelum dan setelah pirolisis, yang dirangkum pada **Gambar 3**. Massa, diameter dan tebal mengalami penyusutan setelah pirolisis, yaitu 55,08%, 25,03%, dan 20,29%. Penyusutan massa disebabkan oleh penguapan bahan pengotor selain karbon seperti hidrogen, nitrogen, oksigen pada saat proses pirolisis. Sedangkan, penyusutan dimensi disebabkan pengaturan ulang susun rantai atom karbon karena kekosongan akibat penguapan volatil. Densitas diperoleh dari perbandingan massa terhadap dimensi. Densitas sebelum dan sesudah pirolisis diperoleh masing-masing sebesar 1,03 g cm⁻³ dan 1,04 g cm⁻³. Densitas karbon aktif dari rotan berada pada rentang densitas karbon aktif dari biomassa. Densitas monolit sebesar 1,03 g cm⁻³ menunjukkan struktur amorpous yang memiliki pori seperti busa [14].

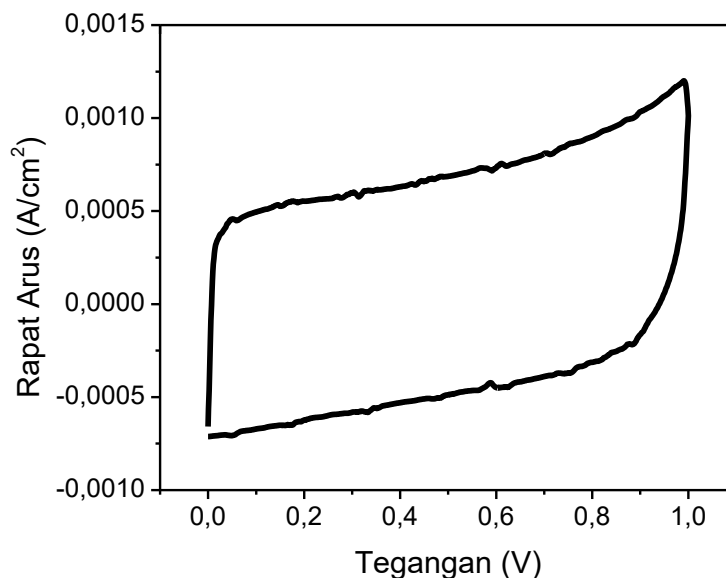


Gambar 3. Massa, dimensi dan densitas karbon aktif monolit rotan

Kapasitansi spesifik

Kapasitansi spesifik diuji menggunakan siklus voltamogram (CV) yang ditampilkan dalam kurva I-V pada **Gambar 4**. Kurva I-V menampilkan bentuk hampir seperti kotak, yang mengindikasikan terjadinya proses *charging-discharging* pada superkapasitor lapisan ganda [15]. Proses pengisian arus (*charging*) dimulai pada tegangan 0,0 V hingga 1,0 V. Pada proses *charging*, terjadi lonjakan rapat arus yang signifikan pada tegangan 0,0 V menuju 0,1 V, mengindikasikan bahwa elektroda karbon memiliki struktur pori dalam rentang ukuran meso-pori. Pada tahap ini, ion-ion elektrolit secara cepat dan spontan bergerak menuju masing-masing elektroda yang bermuatan untuk mengisi pori-pori karbon. Selanjutnya, proses *charging* menunjukkan grafik yang landai hingga 0,6 V. Kemudian, terjadi kenaikan rapat arus pada 0,6-1,0 V, memungkinkan struktur pori mikro mulai membentuk pasangan ion pada antar muka elektrolit dan permukaan elektroda karbon aktif [12,16]. Proses *charging* terus terjadi hingga tegangan mencapai maksimum yaitu 1,0 V.

Selanjutnya, proses *discharging* dimulai ketika tegangan mencapai maksimum 1,0 V. Pada kondisi ini, instrumen CV memberikan bias mundur secara spontan pada elektroda sehingga ion-ion dengan polaritas muatan yang sama dengan elektroda melepaskan diri secara simultan. Tahapan ini menghasilkan arus yang meningkat secara drastis dengan arah yang berlawanan, yang disebut proses *discharging*. Peristiwa *charging-discharging* menghasilkan kurva persegiempat terdistorsi, yang khas untuk setiap bahan. Melalui persamaan standar, Nilai kapasitansi spesifik diperoleh sebesar $104,73 \text{ F g}^{-1}$ pada laju pemindaian 1 mV s^{-1} .



Gambar 4. Kurva siklus voltametri sel superkapasitor berbasis karbon aktif monolit rotan

4. KESIMPULAN

Rotan telah berhasil diubah menjadi karbon aktif monolit dalam bentuk pellet sebagai elektroda superkapasitor. Proses pembuatan karbon aktif dilakukan melalui metode sederhana, yaitu preparasi untuk mengubah bahan baku rotan menjadi serbuk karbon hijau homogen; pencetakan karbon monolit dari bentuk serbuk menjadi pellet; karbonisasi dan aktivasi yang terintegrasi dalam lingkungan gas. Karbon aktif monolit dari rotan menunjukkan kemampuan elektrokimia yang baik, dengan kapasitansi spesifik sebesar $104,73 \text{ F g}^{-1}$ pada laju pemindaian 1 mV s^{-1} , dalam larutan elektrolit $1 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ dengan konfigurasi elektroda lapisan ganda

5. REFERENSI

- [1] T. Kalima, Jasni, Research and development priority of local important rattan species, *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*, vol. 1, hal. 1868–1876, 2015, doi: 10.13057/psnmbi/mo108220.
- [2] B.D.S. Bayu, Sulaeman, M.A.A. Laihi, Analisis pendapatan dan kelayakan usaha rotan pada industri meubel “Subur” di kelurahan Ujuna kecamatan Palu Barat Kota Palu, *Agrotekbis*, vol. 10, no. 5, hal.719–726, 2022
- [3] D. Septiasari, A.S. Alam, I. Rachman, Ariyanti, Anwar, Pemanfaatan rotan (*Calamus sp*) oleh masyarakat di desa bangga kecamatan Dolo Selatan kabupaten Sigi, *War. Rimba J. Ilm. Kehutan*, vol. 10, hal.38–43, 2020
- [4] N.S. Sinurat, A. Iskandar, S. Rifanjani, Pemanfaatan Rotan Oleh Masyarakat Desa menyabo Kecamatan tayan Hulu Kabupaten Sanggau, *J. Hutan Lestari*, vol. 7, hal. 1303–1312, 2011
- [5] Dinna Alief Nugrahani, Pengembangan desain produk lampu hias berbasis material rotan, Tesis Dep. Desain Prod. Fak. Arsit. Desain Dan Perenc. Inst. Teknol. Sepuluh Nop. 2015.
- [6] Syahrin Nur, Murniana, Marlina, Pemanfaatan Rotan sebagai souvenir Khas Sabang dalam Usaha Meningkatkan Perekonomian Masyarakat, *J. Ekon. Dan Bisnis*, vol.18, hal. 162–166, 2017
- [7] X. Yang, L. Kong, M. Cao, X. Liu, X. Li, Porous nanosheets-based carbon aerogel derived from sustainable rattan for supercapacitors application, *Ind. Crops Prod.*, vol. 145, hal. 112100, -2020-, doi:10.1016/j.indcrop.2020.112100.
- [8] P.O. Ibeh, J.M. Rosas, T. Cordero, Activated carbon monoliths from lignocellulosic biomass waste for electrochemical applications, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 97, hal. 480-488, -2019-, doi:10.1016/j.jtice.2019.02.019.
- [9] M. Danish, T. Ahmad, A review on utilization of wood biomass as a sustainable precursor for activated carbon production and application, , vol. 87,hal. 1–21, 2018, doi:10.1016/j.rser.2018.02.003.
- [10] E. Taer, L. Pratiwi, W. Sinta, R. Taslim, Three-dimensional pore structure of activated carbon monolithic derived from

- hierarchically bamboo stem for supercapacitor application, *Communications in Science and Technology*, vol. 5, hal. 22–30, 2020, doi: 10.21924/cst.5.1.2020.180
- [11] G. Zhang, Y. Chen, Y. Chen, H. Guo, Activated biomass carbon made from bamboo as electrode material for supercapacitors, , vol. 102, hal. 391–398, 2018, doi:10.1016/j.materresbull.2018.03.006.
- [12] E. Taer, R. Taslim, Sugianto, M. Paiszal, Mukhlis, W.S. Mustika, Agustino, Meso-and microporous carbon electrode and its effect on the capacitive, energy and power properties of supercapacitor, *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 9, no. 3, hal. 1263-1271, -2018, doi:10.11591/ijpeds.v9n3.pp1263-1271.
- [13] B. Kucharczyková, H. Šimonová, P. Dan, D. Kocáb, P. Misák, P. Petr, Evaluation of Shrinkage , Mass Changes and Fracture Properties of Fine-aggregate Cement-based Composites during Ageing, *Procedia Eng.* vol. 190, hal. 357–364, 2017, doi:10.1016/j.proeng.2017.05.349.
- [14] C. Romero-rangel, A. Guillén-lópez, L.M. Mejía-mendoza, M. Robles, N.D. Espinosa-torres, J. Muñiz, Approaches on the understanding of nanoporous carbon reactivity with polyatomic ions, *Appl. Surf. Sci.*, vol. 495, hal. 143392, 2019, doi:10.1016/j.apsusc.2019.07.134.
- [15] T. Li, R. Ma, J. Lin, Y. Hu, P. Zhang, S. Sun, L. Fang, The synthesis and performance analysis of various biomass-based carbon materials for electric double-layer capacitors: A review, *Int. J. Energy Res.*, vol. 44, hal. 2426–2454, 2020, doi: 10.1002/er.5061.
- [16] Z. Qiu, Y. Wang, X. Bi, T. Zhou, J. Zhou, J. Zhao, Z. Miao, W. Yi, P. Fu, S. Zhuo, Biochar-based carbons with hierarchical micro-meso-macro porosity for high rate and long cycle life supercapacitors, *J. Power Sources*, vol. 376, hal 82–90, 2018, doi: 10.1016/j.jpowsour.2017.11.077.