

LAPORAN PENELITIAN  
CLUSTER KOLABORASI ANTAR PERGURUAN TINGGI

**SINTESIS KARBON AKTIF DARI RUMPUT GAJAH  
SEBAGAI ELEKTRODA PIRANTI PENYIMPAN  
ENERGI SUPERKAPASITOR**



Peneliti :  
Dr. Rika, M.Sc  
Marhama Jelita, M.Sc  
Susi Afriani, MT  
Muhammad Ihsan Hamdy, MT



LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT (LPPM) UIN  
SULTAN SYARIF KASIM RIAU 2021

**SINTESIS KARBON AKTIF DARI RUMPUT GAJAH SEBAGAI  
ELEKTRODA PIRANTI PENYIMPAN ENERGI SUPERKAPASITOR**



**Ketua Peneliti:  
Dr. Rika, S.Si, M.Sc**

**Anggota Peneliti:  
Susi Afriani, MT  
Marhama Jelita, MSc  
Muhammad Ihsan Hamdy, MT**

**Penelitian Kolaborasi Antar Perguruan Tinggi**

**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU  
2021**

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN COVER.....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ii</b>
<b>BAB I    PENDAHULUAN</b>	
1.1.... Latar Belakang.....	1
1.2.... Rumusan Masalah.....	3
1.3.... Tujuan Penelitian.....	3
1.4.... Kajian/Penelitian.....	3
<b>BAB II    TINJAUAN KEPUSTAKAAN</b>	
2.1.... Superkapasitor.....	4
2.2.... Penelitian Terdahulu.....	6
2.3.... Rekam Jejak Kerjasama Penelitian.....	6
<b>BAB III    METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1.... Diagram Alir Penelitian.....	12
3.2.... Rencana Pembahasan .....	13
<b>BAB IV    HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI</b>	
4.1.... Elektroda Karbon Superkapasitor dari Rumput Gajah ...	14
4.1.1 Analisa Sifat Termal.....	14
4.1.2 Analisa Densitas dan Derajat Kristalinitas.....	18
4.1.3 Analisa Morfologi Permukaan dan Sifat Pori.....	20
4.1.4 Analisa Eeergi Dispersif Spektroskopi.....	23
4.1.5 Analisa Sifat Elektrokimia.....	24
4.2    Focus Group Discussion (FGD).....	25
4.3    Luaran yang Telah Dicapai.....	26
<b>BAB V    KESIMPULAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	29
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>30</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>32</b>

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Karbon adalah bahan fungsional yang telah banyak dipelajari dalam beberapa tahun terakhir. Sifat-sifat fisika dan kimia yang sempurna dari bahan tersebut menghasilkan berbagai bentuk dan ukuran. Dengan demikian, karbon digunakan di banyak bidang [1]. Keuntungan lain adalah ketersediaan bahan baku yang melimpah, yang berarti biaya produksi relatif rendah. Salah satu sumber yang digunakan dalam produksi karbon adalah biomassa [2-4]. Misalnya, perkebunan dan bentuk pertanian berkelanjutan lainnya merupakan sumber biomassa yang berlimpah. Di Indonesia, perkebunan kelapa sawit, karet, padi, kelapa dan jagung menghasilkan sejumlah besar biomassa. Biomassa juga dapat diperoleh dari proses pembukaan lahan.

Rumput merupakan sejenis tanaman yang dapat tumbuh bebas dimana saja. Rumput gajah (*Pennisetum polystachion*) adalah rumput yang paling banyak ditemukan di Indonesia. Ketersediaannya dalam jumlah besar dan gratis merupakan keuntungan dari penggunaannya dalam produksi karbon. Dari observasi awal, ketersediaan rumput gajah banyak ditemui disekitar lingkungan kampus UIN SUSKA Riau yang terletak dikawasan Panan, Pekanbaru. Rumput gajah yang tumbuh subur dan berkembang didaerah yang terbiar, dan tidak tersentuh aktivitas manusia ini banyak ditemui disekitar pekarangan luar Stadion Utama Riau yang terletak dijalan Naga Sakti Panam, juga dengan mudah dapat ditemui di Jalan Bangau Sakti Panam dan beberapa kawasan lainnya disekitar kampus UIN SUSKA Riau. Sejauh penelusuran kami, rumput gajah dipotong dan dibiarkan begitu saja karena dinilai kurang bermanfaat dan dikategorikan sebagai limbah. Sebagian dibakar untuk memfungsikan lahan dan sebagian digunakan warga sebagai pakan ternak seperti yang dilaporkan dibeberapa laporan bahwa rumput gajah telah digunakan sebagai sumber pakan ternak dan diproses untuk menghasilkan bioetanol [4-5]. Dalam penelitian ini, rumput gajah digunakan sebagai bahan yang baru dalam menghasilkan elektroda karbon untuk aplikasi superkapasitor yang sedang diselidiki.

Super kapasitor juga dikenal sebagai kapasitor lapisan ganda, adalah jenis perangkat penyimpanan energi listrik yang menggunakan karbon dengan luas permukaan yang tinggi sebagai elektroda [1,6-7]. Penyimpanan energi terjadi berdasarkan pembentukan pasangan ion dan elektron yang terdapat di antarmuka elektroda / elektrolit [8]. Muatan ini terbentuk dalam pori mikro elektroda karbon [9]. Elektroda karbon dengan luas permukaan tinggi

dihasilkan dari karbonisasi dan aktivasi bahan asal, seperti biomassa [2]. Penggunaan berbagai jenis biomassa sebagai bahan baku dalam memproduksi elektroda karbon telah banyak dilaporkan dalam mempelajari sintesis elektroda karbon dari bahan biomassa, termasuk kelapa sawit [10], sekam padi [11], tongkol jagung [12], biji alpukat [13], dan serbuk gergaji kayu karet [14]. Farma dkk, 2013 melaporkan elektroda karbon yang dibuat dari tandan kosong kelapa sawit menggunakan kombinasi aktivasi fisika dan kimia. Luas permukaan dan kapasitansi spesifik dari elektroda ditemukan setinggi  $1704 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  dan  $150 \text{ F g}^{-1}$  [10]. Teo dkk tahun 2016 melaporkan telah menghasilkan elektroda dengan luas permukaan sebesar  $2696 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  dan kapasitansi spesifik  $147 \text{ F g}^{-1}$  menggunakan bahan asal dari sekam padi [11]. Tongkol jagung digunakan sebagai bahan baku dalam produksi superkapasitor oleh Qu dkk tahun 2015 dengan luas permukaan  $1210 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  dan kapasitansi spesifik  $314 \text{ F g}^{-1}$  telah diperoleh [12]. Huang dkk tahun 2014 menghasilkan elektroda superkapasitor dari biji alpukat dengan luas permukaan  $1737 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  dan kapasitansi spesifik  $165 \text{ F g}^{-1}$  [13]. Laporan-laporan ini menunjukkan bahwa bahan karbon yang berasal dari residu pertanian memiliki luas permukaan yang besar dan kapasitansi spesifik yang tinggi. Laporan lain mengungkapkan bahwa pencarian prekursor biomassa baru untuk menghasilkan elektroda karbon yang unggul terus berlanjut. Penggunaan bahan limbah biomassa juga menjadi pilihan dalam upaya mengurangi biaya produksi elektroda karbon. Ada sejumlah laporan tentang penggunaan bahan limbah, seperti residu limbah kentang [3], limbah papan partikel [15], limbah daun teh [16], limbah tanaman [17] dan daun yang jatuh [18]. Luas permukaan dan kapasitansi spesifik dari elektroda karbon yang bahan bakunya berasal dari limbah kisaran dari  $1000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  hingga  $3000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  dan  $100 \text{ F g}^{-1}$  hingga  $330 \text{ F g}^{-1}$ . Sifat kapasitif yang unggul, luas permukaan yang besar dan biaya produksi yang relatif rendah merupakan keunggulan yang terus dicari dalam biomassa yang digunakan untuk mensintesis elektroda karbon untuk superkapasitor. Keuntungan ini juga menginformasikan pertimbangan kami tentang rumput gajah sebagai bahan baku untuk produksi elektroda karbon. Rumput gajah yang digunakan di sini untuk membuat elektroda karbon monolit dikumpulkan disekitar kampus UIN SUSKA Riau, Pekanbaru, Indonesia. Bentuk monolith menawarkan cara lain untuk mengurangi biaya produksi elektroda karbon dengan mengurangi biaya menggunakan perekat. Penelitian ini akan meninjau sifat fisika dan elektrokimia dari sebuah elektroda karbon yang terbuat dari rumput gajah berdasarkan beberapa aspek seperti: (1) suhu karbonisasi, (2) suhu aktivasi fisika dan (3) agen aktivasi kimia. Proposal penelitian ini nantinya akan menunjukkan bahwa rumput gajah dapat dianggap sebagai calon bahan baku potensial untuk pembuatan karbon monolit aktif untuk aplikasi superkapasitor.

## **1.2 Rumusan masalah**

Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah menemukan jalur pembuatan elektroda karbon tanpa perekat dari rumput gajah untuk digunakan sebagai elektroda pada piranti penyimpan energi superkapasitor

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan umum penelitian ini adalah untuk menemukan rute pembuatan elektroda karbon dari rumput gajah yang ada disekitar kampus UIN SUSKA Riau sebagai elektroda karbon aktif untuk piranti penyimpan energi superkapasitor.

## **1.4 Kajian / Penelitian**

Pembuatan elektroda karbon tanpa perekat dari rumput gajah meliputi beberapa langkah kerja meliputi proses pengeringan, pra-karbonisasi, pengilingan, pengayakan, aktivasi kimia, penekanan, karbonisasi dan aktivasi fisika. Variasi dan pengujian pada tiap langkah kerja menjadi kunci keberhasilan untuk diperolehnya elektroda berprestasi tinggi. Pengujian sifat fisika dan elektrokimia seperti, uji morfologi permukaan, luas permukaan, uji kapasitansi, energi dan daya menjadi kunci keberhasilan jalur yang di tempuh, sehingga akhirnya dapat diperoleh sel superkapasitor dengan energi dan daya yang tinggi.

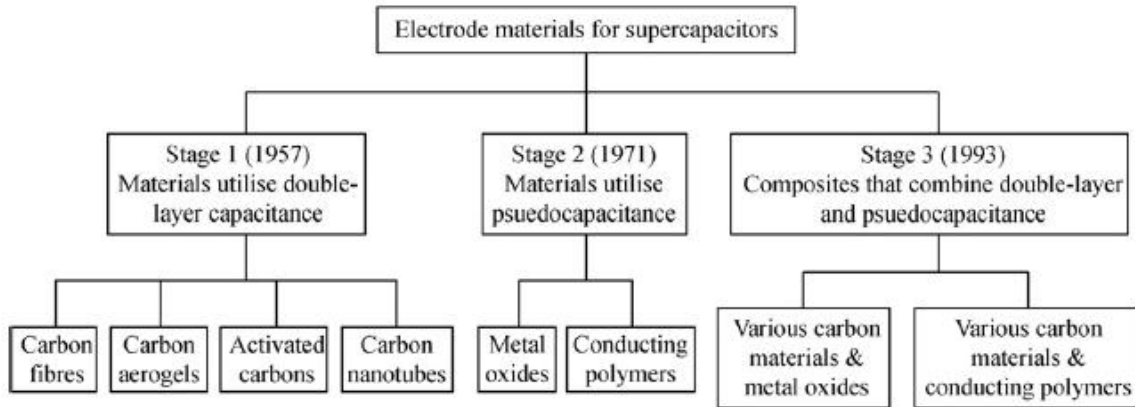
## BAB II

### TINJAUAN KEPUSTAKAAN

#### 2.1 Superkapasitor

Superkapasitor atau ultrakapasitor [18] adalah istilah yang digunakan untuk piranti penyimpanan energi listrik yang mempunyai nilai kapasitan mencapai ribuan farad. superkapasitor menjadi piranti penyimpanan energi listrik yang baik untuk penyimpanan energi. Komersial produk superkapasitor dipasarkan mempunyai spesifik energi dibawah  $10 \text{ Wh kg}^{-1}$ , lebih rendah jika dibandingkan dengan baterai lithium ion dapat mencapai  $150 \text{ Wh kg}^{-1}$ . Superkapasitor mempunyai spesifik daya yang lebih tinggi dari betterai. Sisi positif lain adalah siklus hidup yang lebih tinggi, dapat dioperasikan pada jangkauan temperatur yang lebih besar dan cas serta dis cas yang cepat.

Penyelidikan pada supercapasitor dapat dibagi dalam dua kelompok berdasarkan pada cara penyimpanan energi yang disebut: 1) superkapasitor redox dan 2) kapasitor elektrokimia dua lapisan. Superkapasitor redox (juga dikenal dengan istilah *pseudocapacitor*), dimana sebuah tipe transfer muatan *reversibel Faradaic* yang menghasilkan kapasitan, yang bukan elektrostatis murni (sehingga diberi awalan '*pseudo*' yang membedakan dari kapasitan electro statik). Sedangkan, penyimpanan tenaga pada kapasitor elektrokimia dua lapisan (KEDL) hampir menyerupai kapasitor tradisional yaitu melalui pemisahan muatan. Superkapasitor dapat menyimpan lebih banyak energi per unit masa atau volume dari pada kapasitor konvensional karena: 1) pemisahan muatan terjadi pada jarak yang sangat kecil pada KEDL yang terjadi pada perbatasan elektoda dan elektrolit [1]. 2) Jumlah muatan yang dapat tersimpan dapat ditingkatkan dengan luas permukaan yang tinggi. Mekanisme penyimpanan energi berlangsung secara cepat karena melibatkan perpindahan ion dari dan keluar permukaan elektroda. Pembagian lengkap tentang jenis bahan elektroda ditampilkan pada Gambar 2.1. Superkapasitor jenis KEDL adalah kategori supercapasitor yang sangat maju dikembangkan. Karbon dalam berbagai bentuk, secara intensif terus di kaji dan digunakan secara meluas sebagai material elektrod pada KEDL yang pengembangan di fokuskan pada pencapaian luas permukaan yang lebih tinggi dengan berbagai bahan asal yang lebih murah, limbah perkotaan merupakan bahan asal yang potensial dijadikan bahan asal elektroda superkapasitor dengan harga yang relatif murah.



Gambar 2.1. Perkembangan penyelidikan bahan elektroda superkapasitor.

Struktur superkapasitor terdiri dari dua buah elektroda yang terendam dalam elektrolit, dengan sebuah pemisah ion-permeabel yang terletak diantara kedua elektroda, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Dalam piranti seperti itu, masing-masing antar muka elektroda elektrolit mewakili sebuah kapasitor sehingga sebuah sell lengkap dapat dipandang sebagai dua kapasitor tesusun secara seri. Untuk kapasitor simetris (elektroda yang sama), kapasitan sel, ditunjukkan sebagai :

$$\frac{1}{C_{Cell}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad (1)$$

dimana  $C_1$  dan  $C_2$  mewakili kapasitan untuk elektrod pertama dan kedua [9]. Kapasitan dwi-lapisan,  $C_{dl}$ , pada masing-masing antara muka elektrod ditunjukkan dengan rumusan

$$C_{dl} = \frac{\epsilon A}{4\pi t} \quad (2)$$

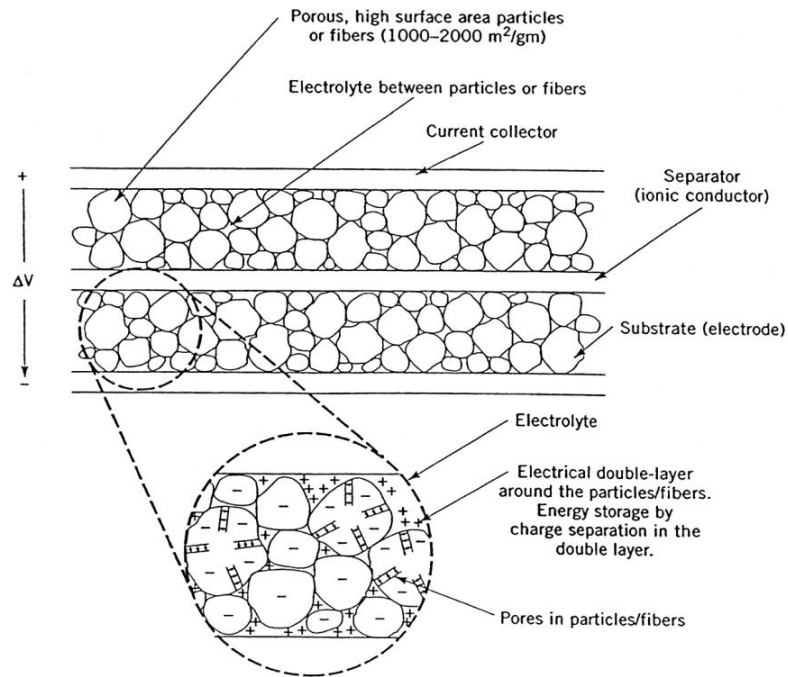
Dimana  $\epsilon$  adalah konstanta dielektrik dari daerah dwi-lapisan,  $A$  adalah luas permukaan dari elektroda dan  $t$  adalah tebal dari dwi-lapisan elektrik. Pada kapasitor dwi-lapisan, merupakan kombinasi dari luas permukaan yang tinggi (biasanya  $> 1500 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ) dengan pemisahan muatan yang sangat kecil (Angstroms) yang dapat menghasilkan kapasitan yang tinggi [19]. Energi ( $E$ ) dan daya ( $P_{max}$ ) dari superkapasitor dapat ditentukan berdasarkan

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \quad (3)$$

$$P_{max} = \frac{V^2}{4R} \quad (4)$$

dimana  $C$  adalah kapasitan dc dalam Farads,  $V$  adalah tegangan dan  $R$  adalah ekuivalen tahanan series (ESR) dalam ohm [20].





Gambar 2.2. Struktur superkapasitor

## 2.2 Penelitian Terdahulu

Kajian superkapasitor berbasis biomassa rumput gajah memiliki potensi besar untuk dikembangkan. Potensi rumput gajah yang telah kami lakukan sebagai penelitian pendahuluan adalah menggunakan bunga rumput gajah sebagai elektroda karbon superkapasitor tanpa bahan perekat. Hasil penelitian ini didapatkan superkapasitor dengan kapasitansi spesifik sebesar 120 F g<sup>-1</sup> dengan luas permukaan diatas 900 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> [21].

Dari surfey sementara keberadaan rumput gajah di lingkungan kampus UIN Suska Riau ditemukan dalam jumlah yang besar. Dari observasi didapati bahwa pemanfaatan rumput gajah selain bunga tentu menyediakan bahan asal yang lebih banyak. Rumput gajah terdiri dari serat-serat memanjang yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Struktur rumput seperti ini biasanya dapat menghasilkan bahan karbon dengan luas permukaan yang tinggi sehingga sesuai digunakan sebagai elektroda seperkapasitor dengan kapasitansi yang tinggi yang akhirnya mampu menyimpan energi yang tinggi pula.

## 2.3. Rekam Jejak Kerjasama Penelitian

Rekam jejak kerjasama penelitian antara peneliti utama dan kawan kawan dari Fakultas Sains dan Teknologi UIN suska Riau dengan kolaborator luar dari Universitas Riau terkait penelitian tentang pemanfaatan limbah biomassa sebagai elektroda karbon superkapasitor telah terjalin sejak lima tahun terakhir. Kerjasama ini ditandai dengan publikasi bersama antara peneliti utama dari uin dan peneliti dari kolaborator Universitas

Riau. Sebanyak 29 publikasi bersama baik berupa jurnal maupun konferen prosiding terindek scopus telah dihasilkan melalui kerjasama sebelumnya, secara lengkap publikasi bersama kami di tampilkan pada tabel 2 berikut. Penelitian ini diharapkan akan meningkatkan lagi kerjasama yang telah dijalin dengan penambahan jumlah publikasi di tingkat internasional dan nasional.

Tabel 2. Rekam jejak publikasi bersama peneliti utama Dr. R.Taslim dan mitra dari Universitas Riau Prof. Dr. Erman Taer.

No.	Judul Artikel Ilmiah	Nama Jurnal	Tahun
1	Interconnected activated carbon nanofiber derived from mission grass for electrode materials of supercapacitor <b>R Taslim, MI Hamdy, M Siska, E Taer, DA Yusra, M Jelita, S Afriani</b>	Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology, 12 (3), 035013	2021
2	Solid coin-like design activated carbon nanospheres derived from shallot peel precursor for boosting supercapacitor performance <b>E Taer, A Apriwandi, DR Andani, R Taslim</b>	Journal of Materials Research and Technology, 15, 1732-1741	2021
3	Porous hollow biomass-based carbon nanofiber/nanosheet for high-performance supercapacitor, <b>E Taer, A Apriwandi, A Agustino, MR Dewi, R Taslim</b>	International Journal of Energy Research, in press	2021
4	The Synthesis of Carbon Nanofiber Derived From Pineapple Leaf Fibers as a Carbon Electrode for Supercapacitor Application, <b>E Taer, A Agustino, A Awitdrus, R Farma, R Taslim</b>	Journal of Electrochemical Energy Conversion and Storage 18 (3), 031004	2021
5	Nanofiber-enrich activated carbon coin derived from tofu dregs as electrode materials for supercapacitor, <b>E Taer, Apriwandi, F Hasanah, R</b>	Communications in Science and Technology 6 (1), 41-48	2021

	<b>Taslim</b>		
6	Biomass-based activated carbon monolith from <i>Tectona grandis</i> leaf as supercapacitor electrode materials  <b>E Taer, M Melisa, A Agustino, R Taslim, W Sinta Mustika, A Apriwandi</b>	Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 1-12	2021
7	A rod-like mesoporous carbon derived from agro-industrial cassava petiole waste for supercapacitor application  <b>E Taer, A Apriwandi, BKL Dalimunthe, R Taslim</b>	Journal of Chemical Technology & Biotechnology 96 (3), 662-671	2021
8	Surface modification: Unique Ellipsoidal/Strobili-fiber Structure of Porous Carbon Monolith for Electrode Supercapacitor  <b>E Taer, Apriwandi, R Taslim, WS Mustika, Agustino, E Fadli</b>	Nanoscience and Technology: An International Journal 12 (4)	2021
9	The Self-Adhesive Carbon Powder Based on Coconut Coir Fiber as Supercapacitor Application  <b>E Taer, N Nikmatun, Apriwandi, Agustino, R Taslim, E Hidayat</b>	Journal of Metastable and Nanocrystalline Materials 33, 1-11	2021
10	A green and low-cost of mesoporous electrode based activated carbon monolith derived from fallen teak leaves for high electrochemical performance  <b>E Taer, AM Miftah, SM Widya, R Taslim</b>	Journal of Applied Engineering Science 19 (1), 162-171	2021
11	Conversion <i>Syzygium oleana</i> leaves biomass waste to porous activated carbon nanosheet for boosting supercapacitor performances  <b>E. Taer, Apriwandi, R. Taslim, Agustino, D. A. Yusra</b>	Journal of Materials Research and Technology 2020, 9, 13332–13340	

12	Enhancing the performance of supercapacitor electrode from chemical activation of carbon nanofibers derived Areca catechu husk via one-stage integrated pyrolysis  <b>E Taer</b> , F Febriyanti, WS Mustika, <b>R Taslim</b> , A Agustino, A Apriwandi	Carbon Letters	2021
13	Three-dimensional pore structure of activated carbon monolithic derived from hierarchically bamboo stem for supercapacitor application  <b>E. Taer</b> , L. Pratiwi, Apriwandi, W. S. Mustika, <b>R. Taslim</b> , Agustino	Communications in Science and Technology, 5(1) (2020) 22–30	2020
14	Porous activated carbon monolith with nanosheet/nanofiber structure derived from the green stem of cassava for supercapacitor application  <b>E. Taer</b> , Apriwandi, N. Yanti W. S. Mustika, <b>R. Taslim</b> , Agustino	<i>International journal of energy research</i> 2020;1–14	2020
15	The synthesis of activated carbon nanofiber electrode made from acacia leaves ( <i>Acacia mangium wild</i> ) as supercapacitors,  <b>E. Taer</b> , Agustino, K. Natalia, Apriwandi, <b>R. Taslim</b> , R. Farma	Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology, 11 (2020) 025007 (7pp)	2020
16	Synthesis of High Porous Activated Carbon Nanofibers using the Single Step Pyrolysis of Reeds Waste and Its Applications in Supercapacitor Electrodes  <b>R. Taslim</b> , <b>E. Taer</b> , Suedi, M. Siska, Suwandana, Agustino, Apriwandi	Technology Reports of Kansai University, 62:09, 2020	2020
17	Preparation of Mission Grass Flower-Based Activated Carbon Monolith Electrode for Supercapacitor Application,  <b>E. Taer</b> , H. Yusra, <b>R. Taslim</b> , W. S.	Journal of Electrochemical Science 14 (2019) 7317 – 7331, doi:	2019

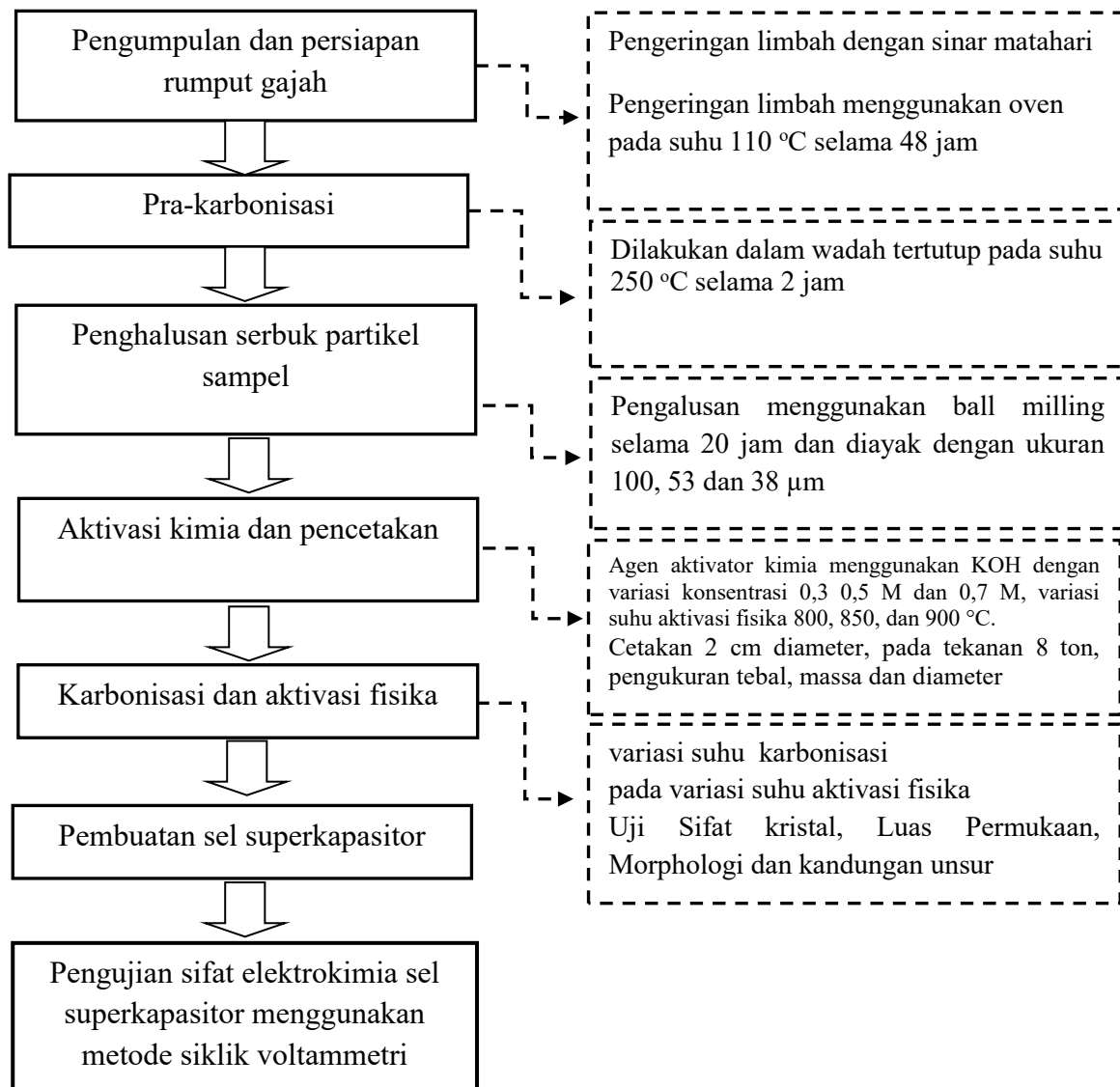
	Mustika, S. Nurjanah, R. I. Yani, Y. P. Sari, Awitdrus, Apriwandi, Agustino, D. Tahir	10.20964/2019.08.82	
18	The Synthesis of Bridging Carbon Particles with Carbon Nanotubes from Areca catechu Husk Waste as Supercapacitor Electrodes  <b>E. Taer</b> , R. Handayani, Apriwandi, <b>R.Taslim</b> , Awitdrus, A. Amri, Agustino and I. Iwantono	International Journal of Electrochemical Science 14 (2019) 9436–9448,	2019
19	Single Step Carbonization-Activation of Durian Shells for Producing Activated Carbon Monolith Electrodes  <b>E. Taer</b> , A. Apriwandi, <b>R. Taslim</b> , U. Malik, Z. Usman	International Journal of Electrochemical Science, 14 (2019) 1318 – 1330	2019
20	Preparation of activated carbon electrode from pineapple crown waste for supercapacitor application  <b>E. Taer</b> , A. Apriwandi, Y. S. Ningsih, <b>R. Taslim</b> , Agustino	International Journal of Electrochemical Science 14 (2019) 2462 – 2475	2019
21	Synthesis of carbon nanofibers from cellulose water chestnut biomass for supercapacitor applications  <b>E. Taer</b> , Zulkifli, Awitdrus, <b>R. Taslim</b> , A. Agustino, Apriwandi	Current Topics in Electrochemistry, 20/ Pages: 39 – 45	2019
22	Activated Carbon Electrode Made From Coconut Husk Waste For Supercapacitor Application  <b>E. Taer</b> , <b>R. Taslim</b> , A.W Putri, A. Apriwandi dan A. Agustino	International Journal of Electrochemical Science 13, 12072 – 12084	2018
23	Production of activated carbon electrodes from Sago waste and its application for an electrochemical double-layer capacitor  <b>E. Taer</b> , A. Afrianda, Apriwandi, <b>R. Taslim</b> , A. Agustino, Awitdrus, dan R.	International Journal of Electrochemical Science, 13, 10688 – 10699	2018

	Farma		
24	Meso-and microporous carbon electrode and its effect on the capacitive, energy and power properties of supercapacitor  <b>E. Taer, R. Taslim,</b> Sugianto, M. Paiszal, Mukhlis, W. S. Mustika, dan Agustino	International Journal of Power Electronics and Drive Systems, 9, 3, 1263-1271	2018
25	Production of an Activated Carbon from a Banana Stem and its Application as Electrode Materials for Supercapacitors,  <b>E. Taer, R. Taslim,</b> W.S. Mustika, B. Kurniasih, Agustino, A. Afrianda dan Apriwandi	International Journal of Electrochemical Science, 13, 8428 – 8439	2018

## BAB III METODE DAN TEKNIK PENGGALIAN DATA

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Adapun instrumen penelitian ini adalah melalui survey lapangan rumput gajah yang tumbuh di lingkungan UIN Suska Riau dan mendata jumlah keberadaannya di area pekanbaru dan sekitarnya serta kemudian dilanjutkan dengan pekerjaan laboratorium untuk menyiapkan sampel. Pekerjaan pengujian sampel kemudian dilanjutkan dengan pengiriman sampel ke beberapa laboratorium di luar lingkungan UIN Suska. Secara berurutan proses kegiatan penelitian ini dapat di lihat pada diagram alir berikut ini.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

Selanjutnya untuk analisa sifat-sifat dasar material seperti uji sifat termal dilakukan di Laboratorium biomassa UNILA Lampung, sifat kristal material karbon di laboratorium Fisika UNP Padang, uji morfologi dengan alat Scanning Elektron Micrograph (SEM) di laboratorium material ITB Bandung, uji luas permukaan di laboratorium teknik kimia ITB, serta uji prestasi kapasitif di laboratorium material dan nanoteknologi FMIPA Universitas Riau.

Gambar 3.1 memaparkan tahapan-tahapan penyiapan sampel dapat dijelaskan dimana sampel rumput gajah yang diteliti untuk dijadikan elektoda piranti superkapasitor adalah berasal dari lingkungan kampus UIN Suska Riau ini dikumpulkan melalui petugas kebersihan Kampus. Sampel tumbuhan rumput gajah pertama sekali mengalami penjemuran dan pengeringan, penghancuran dan di pra-karbonisasi. Setelah itu dihancurkan sampai menjadi serbuk dengan ukuran partikel yang seragam dengan melalui proses pengayakan. Selanjutnya beberapa proses aktivasi kimia dan fisika dilakukan terhadap serbuk sampel sampai dihasilkannya pellet karbon setelah melalui proses pencetakan. Akhir sekali adalah proses perakitan sel superkapasitor dan proses pengujian sifat elektrokimia menggunakan cyclic voltammetry (CV).

### **3.2 Rencana Pembahasan**

Pembahasan penelitian difokuskan pada pembahasan hasil uji yang telah diperoleh meliputi pembahasan sifat morfologi permukaan menggunakan alat serapan gas  $N_2$ , pembahasan sifat derajat kristalinitas menggunakan alat difraksi sinar X, pembahasan kandungan unsur yang terkandung menggunakan alat energi dispersive sinar X, pembahasan kandungan energi dan daya yang dapat disimpan oleh sel superkapasitor menggunakan metode siklik voltametri dan cas-discas pada arus konstan.



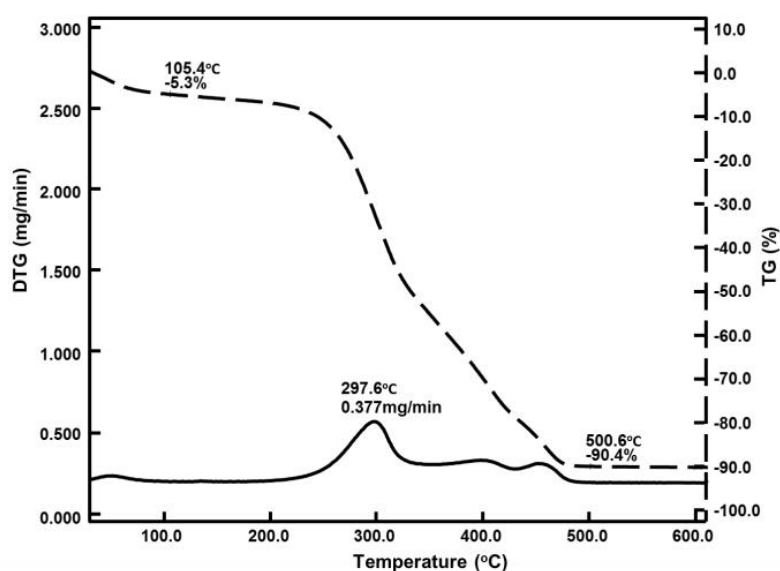
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Karbon Aktif dari Rumput Gajah sebagai Elektroda Superkapasitor

##### 4.1.1 Analisis Sifat Termal

Proses karbonisasi merupakan faktor penting yang digunakan untuk mengubah biomassa menjadi bahan karbon berpori. Suhu memiliki pengaruh besar pada proses pirolisis, dan merupakan faktor penting dalam menentukan kandungan karbon lignoselulosa yang terdekomposisi. Suhu yang cocok untuk karbonisasi karbon berpori dalam lingkungan gas  $N_2$  diselidiki menggunakan analisis TG/DTG, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.

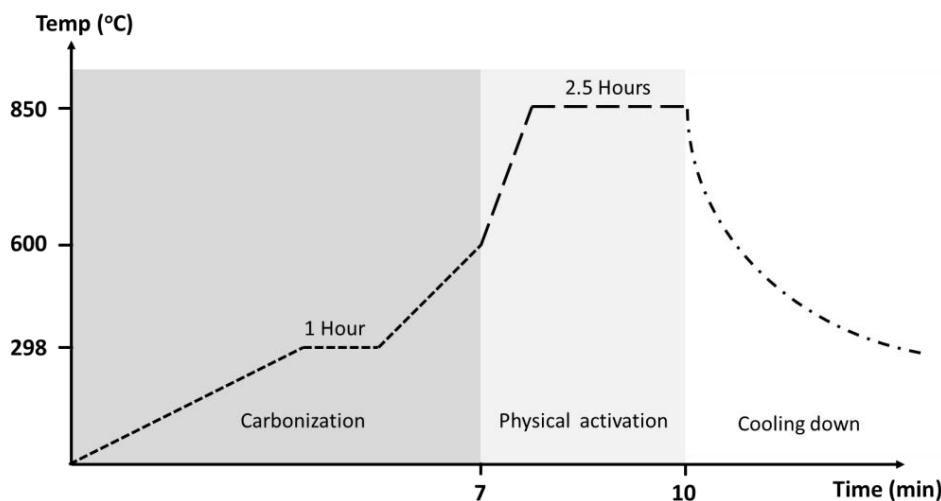


Gambar 4.1. kurva TG/DTG untuk serbuk pra-karbon rumput gajah

Analisis termal diferensial/DTG menunjukkan dua tahap penurunan massa yang signifikan dengan peningkatan suhu. Pada tahap pertama, diperoleh penurunan massa sebesar 5,3% pada suhu 105,4 °C dengan tahap pengeringan dan pemanasan awal yang disebabkan oleh penguapan air [22,23]. Tahap kedua penurunan massa ditemukan pada kisaran suhu 250 °C sampai 500 °C pada 85,1%. Tahap ini berkorelasi dengan dekomposisi senyawa lignoselulosa, termasuk hemiselulosa, selulosa, dan lignin pada rentang suhu yang berbeda 150-215 °C [24]. Selanjutnya, suhu degradasi termal untuk selulosa lebih tinggi pada kisaran 300-400 °C karena strukturnya yang teratur dan stabilitas termal yang baik. Selain itu, selulosa memiliki unit yang relatif homogen, oleh karena itu, kisaran suhu pirolisis relatif sempit, sekitar 100 °C, mampu menghasilkan lebih banyak bahan volatil dalam waktu singkat dan jumlah residu padat yang lebih sedikit [25,26]. Namun, senyawa lignin terdekomposisi

pada suhu tinggi antara 190 °C hingga 900 °C, dan pada suhu 600 °C, tidak ada penurunan signifikan lebih lanjut yang diamati, dengan kehilangan massa total 90,4% [26]. Fenomena ini menunjukkan bahwa suhu karbonisasi optimal dari preparasi karbon aktif adalah 600 °C.

Selanjutnya, profil Thermal Gravimetry (TG) menunjukkan laju kehilangan massa sampel dengan meningkatnya suhu. Instrumen tidak menunjukkan puncak yang signifikan dari suhu kamar hingga 250 °C. Laju penurunan massa meningkat drastis dari 250 °C menjadi 297,6 °C pada 0,377 mg/menit. Fenomena ini ditunjukkan dengan degradasi senyawa lignoselulosa yang terjadi secara simultan [25,26]. Hemiselulosa, selulosa, dan lignin terdekomposisi secara maksimal, sehingga menghasilkan penurunan berat badan yang paling signifikan. Pada tahap kedua, analisis ini terkait dengan DTG. Peningkatan suhu lebih lanjut tidak lagi diamati karena kenaikan kehilangan massa. Oleh karena itu, suhu awal yang digunakan adalah 297,6 °C selama 1 jam selama proses karbonisasi. Pemilihan suhu karbonisasi awal dan maksimum diharapkan dapat menguraikan senyawa lignoselulosa dan memodifikasi struktur karbon berpori, yang menguntungkan untuk kinerja elektroda superkapasitor. Gambar 4.2 menunjukkan analisis rinci dari karbonisasi dan aktivasi fisika dari proses pirolisis.

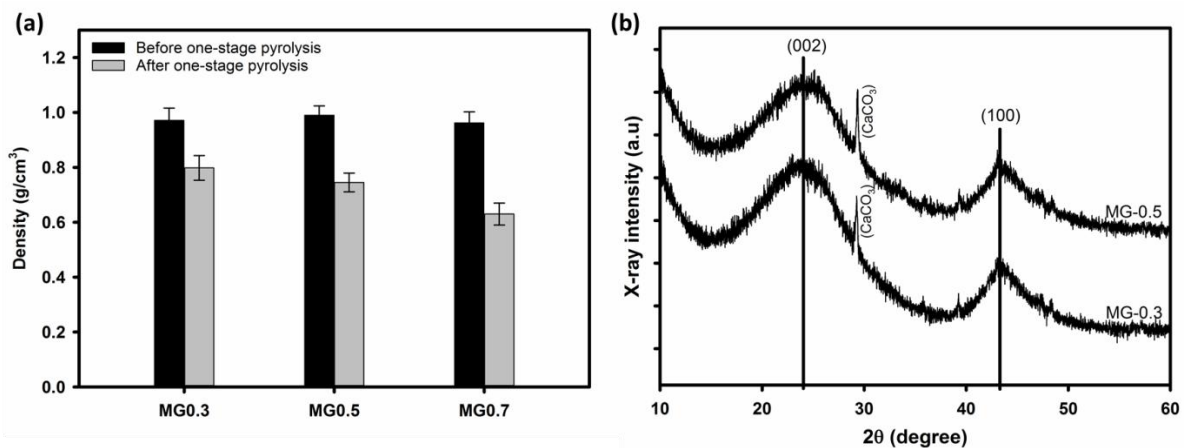


Gambar 4.2. Profil proses pirolisis satu tahap

#### 4.1.2 Analisa Densitas dan Derajat Kristalinitas

Proses pirolisis terintegrasi satu tahap untuk karbonisasi dan aktivasi fisika karbon memiliki efek mendalam pada sifat fisikokimia, termasuk termasuk monolit berpori. Densitas merupakan analisis awal dari sifat fisis yang diperoleh pada akhir proses pirolisis dan aktivasi kimia. Karbonisasi dan aktivasi fisika dari proses pirolisis secara bertahap mengurangi densitas karbon monolit, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3(a). Karbonisasi dari suhu

ruang ke suhu maksimum 600 °C mengurangi dan menguraikan semua senyawa kompleks, termasuk molekul air, hemiselulosa, selulosa, dan lignin dalam analisis TG/DTG. Proses ini memungkinkan peningkatan kandungan karbon dan memberikan efek porositas pada monolit karbon, sehingga mengurangi massa dan volume. Namun, co-produk karbonisasi berupa tar padat menutupi pori-pori yang terbentuk. Oleh karena itu, perlu untuk mengaktifkannya dengan suhu tinggi [27]. Aktivasi fisika dari suhu 600 °C hingga 850 °C menghilangkan karbonisasi produk samping yang menutupi pori dan menunjukkan struktur pori yang relatif lebih baik [27,28].



Gambar 4.3. (a) Densitas dan (b) pola XRD karbon berpori

Selain itu juga dimungkinkan untuk menghasilkan pori-pori yang saling berhubungan seperti pori meso dan pori makro. Fenomena ini mengurangi kepadatan monolit karbon berpori dan meningkatkan kinerja elektroda superkapasitor. Gambar 4.3(a) menunjukkan bahwa semua sampel mengalami penurunan densitas pada akhir proses pirolisis satu tahap. Selanjutnya, tiga aktivator KOH yang berbeda yaitu 0.3M, 0.5M, dan 0.7M yang diaplikasikan pada semua sampel menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap densitas. Penambahan konsentrasi KOH dari 0,3M menjadi 0,7M memiliki kemampuan untuk menurunkan densitas dari 25% menjadi 46%, sehingga menciptakan pori-pori yang lebih terhubung pada karbon monolit berpori [29]. Analisis ini berkorelasi dengan penggunaan adsorpsi gas N<sub>2</sub> dan SEM yang dijelaskan pada sub-bagian berikutnya.

Struktur kristal monolit karbon berpori dianalisis menggunakan pola XRD. Ini menciptakan puncak lebar yang signifikan pada  $2\theta = 23,2-25,3^\circ$  dan  $44,5-45,7^\circ$  yang berhubungan dengan refleksi (002) dan (100) pada sampel MG0.3 dan MG0.5 dengan karakteristik khas karbon amorf (JCPDS No. 41 -1487). Hasil ini serupa dengan laporan lain seperti karbon berpori yang berasal dari kulit buah baobab [30], batang pisang [29], dan argan [31] yang menunjukkan munculnya puncak pelebaran pada  $23^\circ$  dan  $43^\circ$ ,  $24^\circ$  dan  $44^\circ$ , dan

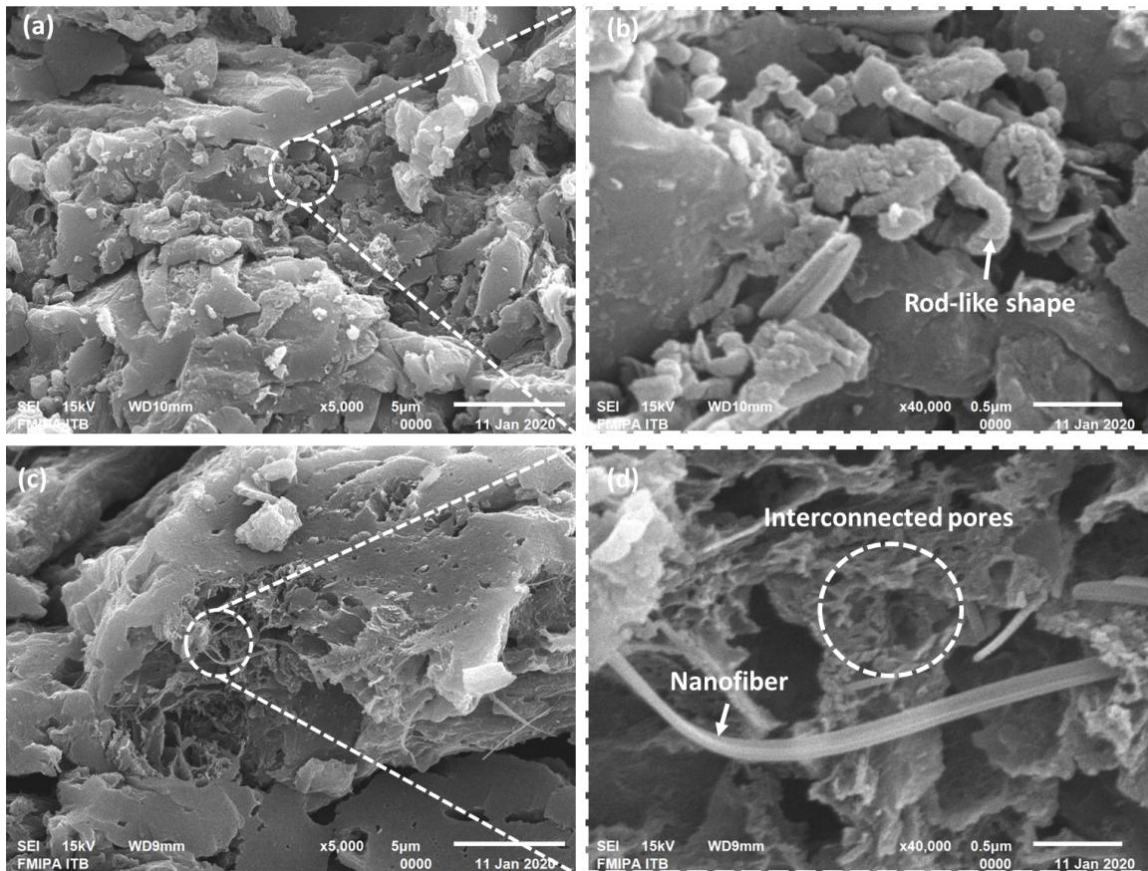
25 ° dan 43 °, masing-masing. Semua puncak lebar menunjukkan struktur karbon amorf yang khas. Namun, lebar puncak XRD ditemukan sebagian besar bergeser pada (002) difraksi dari 23,2 menjadi 25,3 di MG0.5 bila dibandingkan dengan MG0.3. Struktur karbon lebih amorf dengan aktivasi KOH pada konsentrasi yang lebih tinggi dari 0,3M hingga 0,5M, dan hasil ini dikorelasikan dengan analisis SEM untuk menghasilkan meso-, dan pori makro yang lebih saling berhubungan pada karbon monolit berpori MG0.5. Selanjutnya, pola XRD juga mengamati puncak yang tajam pada  $2\theta$  29,6°, yang menunjukkan adanya kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) (JCPDS No. 82-1690) baik pada MG0.3 dan MG0.5. Sementara itu, penambahan konsentrasi KOH yang lebih banyak dari 0,3M menjadi 0,5M mengurangi senyawa  $\text{CaCO}_3$  pada karbon monolit berpori, dengan konsentrasi yang lebih tinggi pada pola MG0,5 XRD. Keberadaan ini diekstraksi dari kandungan umum Kalsium dalam bahan biomassa, yang dikonfirmasi oleh analisis EDS.

#### 4.1.3 Analisa Morfologi Permukaan dan Sifat Pori

Morfologi permukaan dan struktur pori karbon monolit berpori yang berasal dari bahan limbah biomassa rumput gajah dicirikan dengan pemindaian mikroskop elektron, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4. Proses pirolisis dan impregnasi reagen kimia digunakan untuk mengubah dan mengontrol morfologi permukaan. Selanjutnya, pirolisis terintegrasi satu tahap, serta proses karbonisasi dan aktivasi fisika, digunakan sebagai rantai pengikat komponen lignoselulosa yang digunakan untuk memisahkan hemiselulosa dan lignin dari kandungan selulosa. Bentuk asli selulosa seperti batang, dan pada suhu tinggi berpotensi menjadi microfiber dan nanofiber [32], sedangkan hemiselulosa dan lignin cenderung membentuk morfologi globular [33-35]. Pada suhu tinggi, proses aktivasi berpotensi membentuk struktur *nanosheet* dan *nanospheres*, seperti yang dilaporkan sebelumnya [36,37]. Selanjutnya, aktivasi KOH bermanfaat untuk SSA yang lebih besar dengan struktur pori yang sesuai dan saling berhubungan. Manfaat ini merupakan faktor yang berkontribusi sebagai jalur ion untuk kekuatan yang lebih tinggi dan elektroda superkapasitor kapasitansi spesifik [38,39].

Mikrograf SEM sampel MG0.3 dan MG0.5 menunjukkan bahwa morfologi yang sama terdiri dari fragmen karbon dengan ukuran tidak beraturan, mulai dari beberapa ratus mikrometer, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4(a) dan 4.4(b). Selanjutnya, sampel MG0.3 menunjukkan struktur serpihan berpori agregat dengan pori-pori makro yang jelas. Dekomposisi termokimia KOH menyebabkan etsa rantai karbon padat dalam sampel dan menghasilkan morfologi bentuk seperti serpihan dengan pori-pori makro dalam kisaran 234

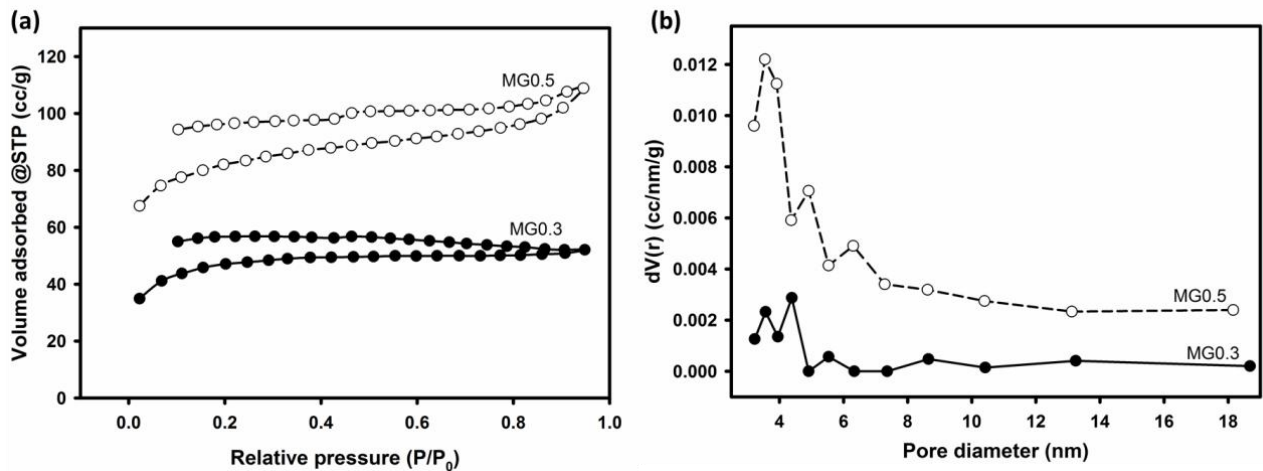
nm, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4(b). Selain itu, morfologi berbentuk batang pendek memiliki diameter 23 nm.



Gambar 4.4. SEM mikrograf untuk (a) MG0.3, (b) perbesaran dari MG0.3, (c) MG0.5, (d) perbesaran dari MG0.5

Gambar 4.4(c) menunjukkan sampel MG0.3 dan MG0.5 yang lebih kasar dan berongga dengan struktur makropori dan mesopori yang jelas. Secara khusus, terdapat banyak sub-makropori pada struktur amorf ini, oleh karena itu penambahan konsentrasi KOH memiliki kemampuan untuk memodifikasi struktur dan morfologi monolit karbon berpori. MG0.5 yang dipirolisis pada suhu tinggi memperoleh struktur berpori yang saling berhubungan secara hierarkis, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 4.4(d), namun, pori mikro yang tidak berkembang, seperti yang terlihat pada kurva distribusi pori. Peningkatan konsentrasi KOH menjadi 0,5 M menciptakan lebih banyak rantai karbon dan memperlebar pori-pori, karena pirolisis suhu tinggi dan memperoleh pori-pori yang saling berhubungan secara hierarkis. Selain itu, struktur mikrofiber juga ditemukan pada sampel GM0.5 karena penambahan aktivator KOH, yang menguraikan hemiselulosa dan lignin yang melekat pada selulosa dan selanjutnya mengurangi ukuran selulosa seperti batang menjadi serat mikro. Mesopori dan makropori yang saling berhubungan dengan struktur mikrofiber yang dihias ini

memberikan kontribusi yang tinggi terhadap luas permukaan, dan transfer ion pada antarmuka elektroda/elektrolit, sehingga meningkatkan kinerja superkapasitor, sebagaimana dikonfirmasi oleh analisis penyerapan gas N<sub>2</sub> dan kurva voltametri siklik.



Gambar 4.5 (a) Kurva adsorpsi gas N<sub>2</sub> dari MG0.3 dan MG0.5, (b) Dsitribusi ukuran pori dari MG0.3 and MG0.5

Secara umum, terdapat interkoneksi unik antara struktur mesopori dan makropori, yang berinteraksi dengan biomassa MG, pirolisis satu tahap, dan aktivasi KOH, sehingga menghasilkan kerangka karbon dan molekul gas kecil H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, dan CO [25], membentuk mikropori. Namun, ketika karbon dipirolisis pada suhu tinggi dalam satu tahap, pori mikronya terintegrasi dengan ukuran yang lebih besar dihancurkan untuk membentuk struktur yang stabil dari mesopori dan pori makro yang terdistribusi. Struktur unik ini jauh lebih berguna untuk transportasi dan penyimpanan ion elektrolit, sehingga meningkatkan kinerja elektroda superkapasitor.

Gambar 4.5(a) menunjukkan kurva adsorpsi/desorpsi gas N<sub>2</sub> untuk sampel MG0.3 dan MG-0.5 yang digunakan untuk mengamati perilaku keropos karbon monolit. Umumnya, profil MG-0,3 dan MG-0,5 menunjukkan kombinasi tipe I dan IV berdasarkan klasifikasi IUPAC [40]. Peningkatan signifikan adsorpsi gas N<sub>2</sub> pada tekanan relatif rendah  $P/P_0 < 0,1$  menunjukkan sejumlah kecil struktur mikropori [41]. Lingkaran histeresis dengan tipe H4 khas pada tekanan relatif  $P/P_0 = 0,4-0,95$  menunjukkan adanya banyak mesopori [42]. Namun, semua sampel tidak menunjukkan tipe histeresis H4 yang ideal karena pada tekanan relatif  $P/P_0 < 0,4$  garis desorpsi gagal menyatu dengan adsorpsi, yang menunjukkan adanya gas N<sub>2</sub> yang terperangkap dalam pori-pori karbon monolit [43]. Fenomena ini disebabkan oleh terbentuknya pori-pori seperti botol, yang memiliki leher pori yang sempit sehingga memungkinkan untuk menahan gas N<sub>2</sub> hingga proses desorpsi selesai [44]. Selanjutnya, sampel MG-0,5 menunjukkan peningkatan yang signifikan pada tekanan relatif tinggi

$P/P_0=0,9-0,98$ , yang menunjukkan bahwa banyak pori makro yang tidak ditemukan pada sampel MG-03. Luas permukaan spesifik untuk kedua sampel dievaluasi menggunakan metode BET masing-masing sebesar  $152.072 \text{ m}^2/\text{g}$  dan  $266.159 \text{ m}^2/\text{g}$  untuk sampel MG-0,3 dan MG-0,5. Penambahan konsentrasi KOH dari 0,3M menjadi 0,5M meningkatkan luas permukaan spesifik dan mempengaruhi jumlah kombinasi pori karbon monolit yang dikonfirmasi oleh profil penyerapan gas  $\text{N}_2$ . Pada sampel MG-0,5 terbentuk pori-pori yang saling berhubungan nyata, yang terdiri dari pori mikro, pori mesopori, dan pori makro, yang tidak terdapat pada MG0.3. Kombinasi pori-pori ini sangat berkontribusi untuk menyediakan situs aktif ion elektrolit, sehingga meningkatkan laju difusi ion ke antarmuka elektroda [45]. Hasil ini mengkonfirmasi adanya analisis XRD dan SEM yang dianalisis sebelumnya. Selain itu, distribusi pori dievaluasi menggunakan metode BJH untuk sampel MG0.3 dan MG0.5. Gambar 4.5(b) menunjukkan profil distribusi diameter pori, kedua sampel mengkonfirmasi ukuran mesopori dalam kisaran 3 nm hingga 20 nm. Selanjutnya penambahan konsentrasi KOH meningkatkan diameter pori rata-rata dari 3,2 nm menjadi 3,5 nm untuk sampel MG0.3 dan MG0.5. Sebaliknya, keberadaan mesopori pada sampel MG0.5 lebih besar dari pada MG0.3 yang mampu meningkatkan luas permukaan dan interkoneksi pada semua pori.

#### 4.1.4 Analisa Energi Dispersif Spektroskopi

Selanjutnya, komposisi kimia MG0.3 dan MG0.5 ditinjau dengan menggunakan Energy dispersive spectroscopy (EDS), yang dirangkum dalam Tabel 1. Preparasi monolit karbon berpori yang berasal dari limbah rumput gajah berhasil menunjukkan kandungan karbon tinggi pada persentase 88,41-90,45%. Peningkatan konsentrasi KOH tidak menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap persentase kandungan karbon. Oksigen merupakan unsur tertinggi setelah karbon, dengan persentase 7,67-9,47%, yang mempengaruhi perilaku hidrofilik [46]. Unsur-unsur lain juga ditemukan dalam persentase yang relatif rendah seperti natrium, silika, kalium, dan kalsium, yang terkait dengan senyawa yang biasa ditemukan dalam biomassa sebagai bahan baku [47]. Hasil yang diperoleh pada EDS berkorelasi dengan beberapa laporan sebelumnya yang menggunakan biomassa sebagai bahan baku monolit karbon seperti bambu [48], daun nanas [49], sekam padi [50], dan batang pisang [29].

Tabel 1. Komposisi kimia sampel MG-0.3 dan MG-0.5

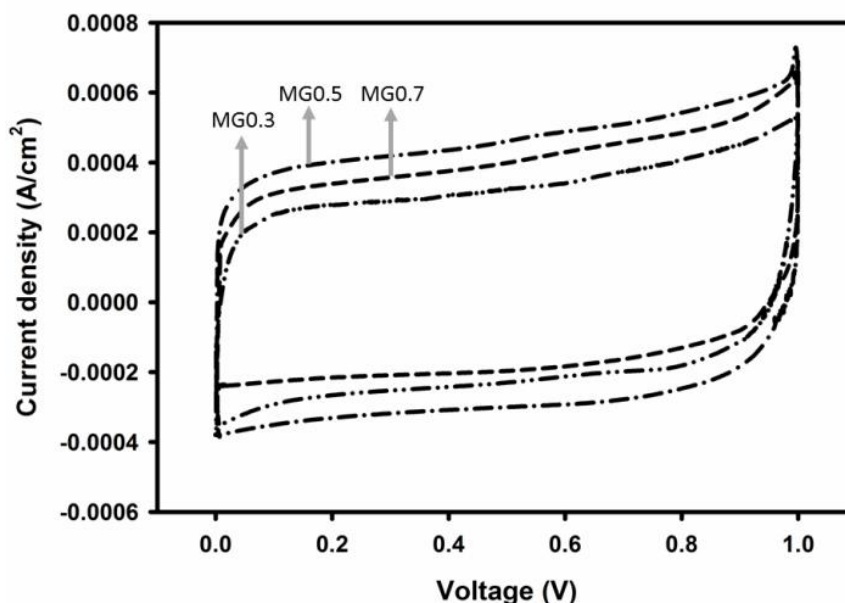
Element contents	MG0.3	MG0.5
C	88.41	90.45
O	9.47	7.67

Na	0.54	0.55
Si	0.85	0.23
K	0.46	0.90
Ca	0.28	0.20

#### 4.1.5 Analisa Sifat Elektrokimia

Perilaku elektrokimia dan kinerja kapasitif dari elektroda karbon yang berasal dari limbah rumput gajah dievaluasi dalam dua sistem menggunakan elektrolit 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan jendela potensial 0-1.0V. Gambar 4.6 menunjukkan profil siklik voltametri (CV) dari MG0.3, MG0.5, dan MG0.7 pada laju pemindaian 1 mV/s. Semua profil menunjukkan bentuk kuasi-persegi panjang, dengan demikian, mengarah ke perilaku lapisan ganda kapasitor simetris yang ideal [51]. Selanjutnya, luas bentuk kuasi-persegi panjang menunjukkan kapasitansi spesifik superkapasitor dengan sampel yang digunakan masing-masing untuk memperoleh 115 F/g 171 F/g, dan 155 F/g. Penambahan konsentrasi aktivator KOH menunjukkan peningkatan kapasitansi spesifik yang signifikan dari 115 F/g menjadi 171 F/g. Ini juga secara efektif membentuk dan mengubah struktur pori monolit karbon dengan konsentrasi yang lebih tinggi yang mampu meningkatkan luas permukaan spesifik, sebagaimana dikonfirmasi oleh analisis adsorpsi/desorpsi gas N<sub>2</sub>. KOH juga memungkinkan pembentukan makropori dan mesopori, sebagaimana dikonfirmasi oleh analisis SEM. Pori makro memiliki kemampuan untuk memperpendek jarak difusi ion, sedangkan mesopori menyediakan transportasi elektrolit ion yang cepat dan area permukaan yang besar untuk pembentukan lapisan ganda listrik. Fenomena ini menyebabkan peningkatan yang signifikan dalam kapasitansi spesifik dari sampel MG0.3 ke MG0.5. Namun, penambahan konsentrasi yang lebih tinggi pada MG0.7 menunjukkan kapasitansi spesifik yang sedikit lebih rendah. Hal ini karena konsentrasi yang lebih tinggi mengubah ukuran mesopori ke arah yang lebih besar dan mengurangi luas permukaan, dengan kemampuan untuk merusak pori-pori yang saling berhubungan yang mampu merusak kapasitansi tertentu. Densitas energi dan daya superkapasitor elektroda dievaluasi dengan persamaan standar [52,53] berdasarkan data kapasitansi spesifik, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Energi dan kepadatan daya maksimum yang ditemukan dalam sampel MG0,5 setinggi 23,75 Wh/kg dan 85,58 W/kg, masing-masing. Energi tinggi dan kepadatan daya sel superkapasitor MG0.5 terutama dikaitkan dengan kapasitansi spesifiknya yang tinggi. Oleh karena itu, superkapasitor simetris berdasarkan bahan karbon berpori, memiliki kinerja elektrokimia yang sangat baik.



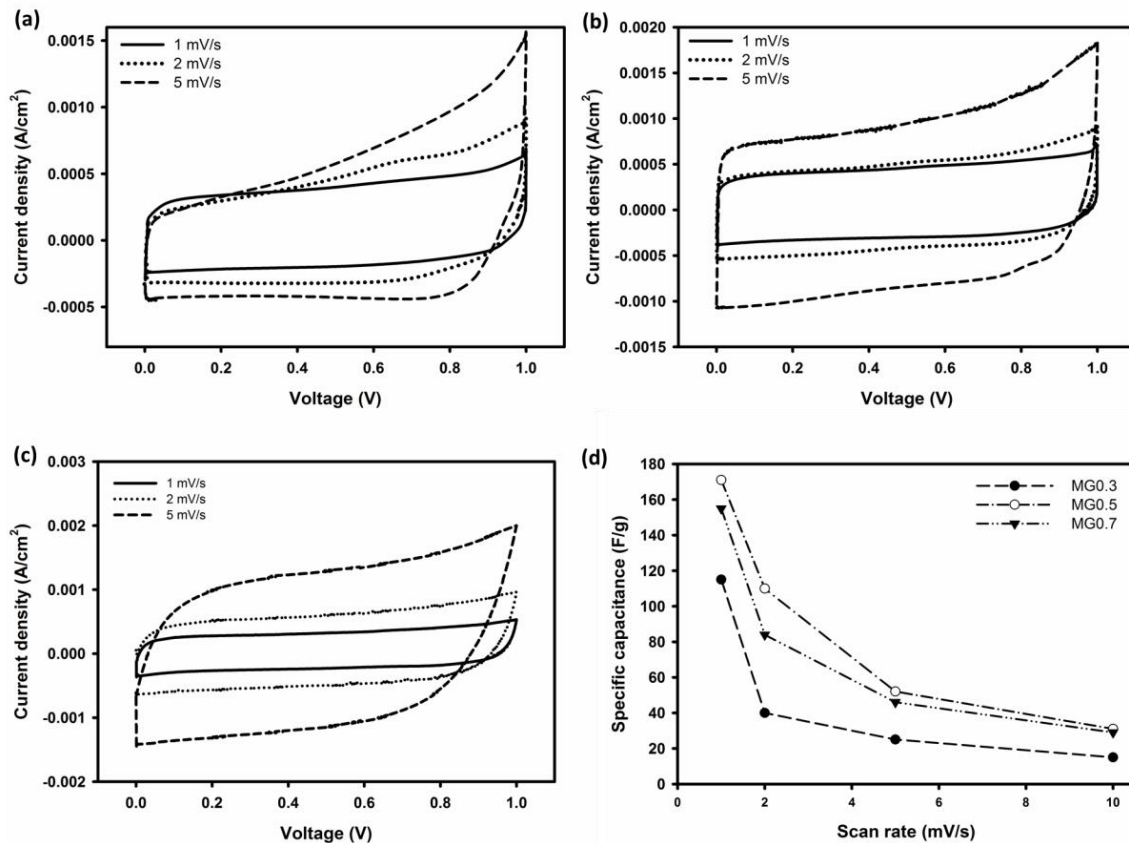


Gambar 4.6 Kurva CV untuk sampel MG-0.3, MG-0.5, dan MG-0.7

Tabel 2. Kapasitansi spesifik, rapat energi dan daya untuk MG0.3, MG0.5, dan MG0.7

<b>Sampel</b>	<b>C<sub>sp</sub></b> <b>(F/g)</b>	<b>E</b> <b>(Wh/kg)</b>	<b>P</b> <b>(W/kg)</b>
MG0.3	115	15.97	57.55
MG0.5	171	23.75	85.58
MG0.7	155	21.53	77.57

Gambar 4.7(a)-(c) menunjukkan kurva CV untuk sampel MG0.3, MG0.5, dan MG0.7 dalam variasi laju pemindaian mulai dari 1 hingga 10 mV/s. Semua sampel menunjukkan bentuk persegi panjang, yang menunjukkan bahwa elektroda superkapasitor memiliki kemampuan untuk mengangkut ion dan relatif cepat. Peningkatan yang signifikan dalam kerapatan arus juga diamati, yang dikaitkan dengan struktur pori hierarkis yang unik dan konduktivitas yang baik dari elektroda superkapasitor. Gambar 4.7(d) menunjukkan kapasitansi spesifik versus variasi laju pemindaian untuk semua sampel. Peningkatan laju pemindaian terjadi karena penurunan kapasitansi spesifik secara bertahap karena berbagai faktor pengontrol, yang meliputi distribusi ukuran pori, kombinasi pori mikro dan mesopori, dan luas permukaan spesifik. Ini biasanya ditemukan pada kapasitor lapis ganda elektrokimia.



Gambar 4.7. Kurva CV pada variasi laju pemindaian (a) MG0.3, (b) MG0.5, (c) MG0.7, dan (d) kapasitansi spesifik vs. variasi laju pemindaian untuk semua sampel

#### 4.2 Focus Group Discussion (FGD)

Kegiatan *Focus Group Discussion* (FGD) telah dilakukan dan dilaksanakan pada Hari Minggu, 17 Oktober 2018 di Hotel Daima Padang dengan Tema “Sintesis Karbon Aktif dari Rumput Gajah sebagai Elektroda Piranti Penyimpan Energi Superkapasitor”. Kegiatan ini dihadiri oleh 2 orang Narasumber dari Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau yaitu: Prof. Dr. Erman Taer, M.Si selaku Narasumber 1 dan Apriwandi, M.Si selaku naras. Kegiatan ini juga dihadiri oleh Tim Peneliti dari Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dengan ketua Peneliti Dr. Rika, M.Sc. Peserta kegiatan FGD ini juga dihadiri oleh 3 orang pembantu peneliti dari Laboratorium Fisika Material dan Nanoteknologi FMIPA Universitas Riau, 2 orang mahasiswa dari Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, dan 1 orang mahasiswa dari Universitas Negeri Padang. Kegiatan FGD ini membahas semua permasalahan yang berhubungan dengan penyimpanan energi elektrokimia yang biasa dikenal dengan Superkapasitor dan materi terkait managerial referensi dan sitasi.

### 4.3 Luran yang telah Dicapai

Dari serangkaian pelaksanaan kegiatan penelitian, data-data yang telah diperoleh telah dilakukan analisa, untuk selanjutnya dibuat artikel ilmiah. 1 artikel ilmiah telah diterima dan dipublikasikan di jurnal internasional bereputasi dan berfaktor dampak (Scopus Q2) yaitu “Advanced in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology” Volume 12, No. 3, pp: 035013, Tahun 2021. Judul artikel dan url artikel secara lengkap ditampilkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Capaian luaran penelitian

Judul artikel	Nama jurnal, Volume, dan url artikel	Publisher
Interconnected activated carbon nanofiber derived from mission grass for electrode materials of supercapacitor  <b>Penulis:</b> Rika Taslim <sup>1</sup> , Muhammad Ihsan Hamdy <sup>1</sup> , Merry Siska <sup>1</sup> , Erman Taer <sup>2</sup> , Deris Afdal Yusra <sup>2</sup> , Apriwandi <sup>2</sup> , Marhama Jelita <sup>3</sup> , Susi Afriani <sup>3</sup> and Novi Gusnita <sup>3</sup>	Advanced in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology, 2021, Vol. 12, No. 3, pp: 035013 <a href="https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2043-6262/ac2953/meta">https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2043-6262/ac2953/meta</a>	IOP Publishing

# Interconnected activated carbon nanofiber derived from mission grass for electrode materials of supercapacitor

Rika Taslim<sup>1</sup>, Muhammad Ihsan Hamdy<sup>1</sup>, Merry Siska<sup>1</sup>, Erman Taer<sup>2</sup>, Deris Afdal Yusra<sup>2</sup>, Apriwandi<sup>2</sup>, Marhama Jelita<sup>3</sup>, Susi Afriani<sup>3</sup> and Novi Gusnita<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Industrial Engineering, State Islamic University of Sultan Syarif Kasim, 28293 Simpang Baru, Riau, Indonesia

<sup>2</sup> Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Riau, 28293 Simpang Baru, Riau, Indonesia

<sup>3</sup> Department of Electrical Engineering, State Islamic University of Sultan Syarif Kasim, 28293 Simpang Baru, Riau, Indonesia

E-mail: rikataslim@gmail.com

Received 30 April 2021

Accepted for publication 17 July 2021

Published 4 October 2021



CrossMark

## Abstract

The porous carbon electrode materials for supercapacitors derived from biomass waste attract lots of attention due to their natural abundance and low cost. This study therefore aims at developing a cost-effective and sustainable method for synthesising porous activated carbon derived from mission grass biomass waste (MG). The one-stage integrated pyrolysis for carbonisation, physical activation, and KOH activation was used to obtain porous activated carbon monolith. The surface morphology and pore structures consist of interconnected activated carbon nanofiber with high carbon content of 90.45%. The KOH impregnation successfully changed the morphology from the rod-like shape into a nanofiber structure. Due to their synergistic effect, the specific capacitance enhanced from 115 to 171 F g<sup>-1</sup> in 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> aqueous electrolyte with an egg duck shell membrane as a separator. The result showed that the maximum energy and power densities were 23.75 Wh kg<sup>-1</sup> and 96.94 W kg<sup>-1</sup>, respectively. Therefore, these unique properties enable the mission grass to become a high potential for porous carbon electrode materials as supercapacitor energy storage.

Keywords: nanofiber, porous carbon, electrode materials, supercapacitor, energy storage

## 1. Introduction

Energy is a basic necessity for humans all over the world, as well as water and food. Its consumption tends to increase significantly every year, thereby lowering the availability of fossil fuels as the main energy source. This led to the development of numerous renewable energy technologies such as solar cells, turbines, and wind power, as an alternative electricity generation. The availability of these resources is still limited, therefore, storage devices with high energy and power densities, as well as excellent rate performance such as batteries, supercapacitors, and electrolyte capacitor are needed [1, 2]. Furthermore, supercapacitor is a type of energy storage

device that is considered to have high performance due to their relatively higher energy density than capacitors and greater power density than batteries [3, 4]. The electrode material is the main substance used in the production of high-performance supercapacitors, including electric double-layer capacitors (EDLC) and pseudo-capacitor [3, 5]. Due to the high surface area, better electrical conductivity, and more stable electrochemical properties of porous carbon, it is defined as the ideal electrode material for EDLC [6]. The porous carbon materials often used are nanotubes, activated carbon, graphene [7], and metal-organic [5, 8]. Conversely, the electrodes for pseudo-capacitive material used to store high energy from redox reactions are derived from metal

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisa pada bagian sebelumnya, penelitian ini menganalisis efektivitas biaya yang terkait dengan pirolisis terintegrasi satu tahap dan impregnasi KOH dalam persiapan karbon aktif berpori yang berasal dari limbah biomassa rumput gajah. Monolit karbon berpori terdiri dari struktur makro dan mesopori amorf dan saling berhubungan. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi KOH meningkatkan luas permukaan spesifik dari 152,072 m<sup>2</sup>/g menjadi 266.159 m<sup>2</sup>/g pada sampel MG0.5. Sementara itu, kapasitor simetris lapisan ganda menunjukkan kapasitas penyimpanan muatan yang agak tinggi dengan kapasitansi spesifik 171 F/g pada laju pemindaian 1 mV/s dalam sistem dua elektroda. Selanjutnya, sampel MG-0,5 menunjukkan kepadatan energi dan daya yang tinggi masing-masing sebesar 23,75 Wh/kg dan 96,94 W/kg dalam perangkat simetris tipe koin. Oleh karena itu, karbon berpori yang berasal dari rumput gajah dengan biaya yang efektif, berkelanjutan, dan melimpah memiliki potensi untuk aplikasi penyimpanan energi superkapasitor.

## DAFTAR PUSTAKA

1. M. Inagaki, H. Konno, O. Tanaike, *J. Power Sources*, 195 (2010) 7880.
2. A. M. Abioye, F. M. Ani, *Renew Sust. Energ. Rev.*, 52 (2015) 1282–1293.
3. M. Ma, Q. Yang, K. Sun, H. Peng, F. Ran, X. Zhao, and Z. Lei, *Bioresour. Technol.*, 197 (2015) 137.
4. S. Prasertwasu, D. Khumsupan, T. Komolwanich, T. Chaisuwan, A. Luengnaruemitchai, S. Wongkasemjit, *Bioresour. Technol.*, 163 (2014) 152.
5. E. Cardona, J. Rios, J. Pena, M. Penuela, L. Rios, *Biomass Bioenerg.*, 95 (2016) 206.
6. S. Faraji, F. N. Ani, *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 42 (2015) 823–834.
7. A. González, E. Goikolea, J. A. Barrena, R. Mysyk, *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 58 (2016) 1189–1206.
8. R. Kötz, M. Carlen, *Electrochim. Acta*, 45 (2000) 2483.
9. A. Burke, *J. Power Sources*, 91 (2000) 37.
10. R. Farma, M. Deraman, A. Awitdrus, I. A. Talib, E. Taer, N. H. Basri, J. G. Manjunatha, M. M. Ishak, B. M. N. Dollah, S. A. Hashmi, *Bioresour. Technol.*, 132 (2013) 254.
11. E. Y. L. Teo, L. E. P. Ng. Muniandy, F. Adam, A. R. Mohamed, R. Jose, K. F. Chong, *Electrochim. Acta*, 192 (2016) 110–119.
12. W. H. Qu, Y. Y. Xu, A. H. Lu, X. Q. Zhang, W. C. Li, *Bioresour. Technol.*, 189 (2015) 285.
13. C. Huang, A. M. Puziy, T. Sun, O. I. Poddubnaya, F. Suárez-García, J. M. D. Tascón, D. HulicovaJurcakova, *Electrochim. Acta*, 137 (2014) 219.
14. E. Taer, M. Deraman, I. A. Talib, A. Awitdrus, S. A. Hashmi, A. A. Umar, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 6 (2011) 3301 – 3315.
15. T. X. R. Shang, Q. Ren, Y. M. Zhu, X. J. Jin, *Electrochim. Acta*, 163 (2015) 32.
16. C. Peng, X. B. Yan, R. T. Wang, J. W. Lang, Y. J. Ou, Q. J. Xue, *Electrochim. Acta*, 87, (2013) 401.
17. C. Chen, D. Yu, G. Zhao, B. Du, W. Tang, L. Sun, Y. Sun, F. Besenbacher, M. Yu, *Nano Energ.*, 27 (2016) 377.
18. Taer, E., Deraman, M., Talib, I.A., Awitdrus, A., Hashmi, S.A. and Umar, A.A. 2011 *Int. J. Electrochem. Sci.* 2011 6:3301-3315
19. Frackowiak, E. 2007. Carbon materials for supercapacitor application. *Chemistry and Physics* 9 (15):1774-1785
20. A. Burke. 2007. R & D. *Electrochimica Acta* 53:1083-1091
21. E. Taer, R. Taslim, W. S. Mustika, S. Nurjanah, R. I. Yani, Y. P. Sari, H. Yusra, Awitdrus, Apriwandi, Agustino, and D. Tahir, *Int. J. Electrochem. Sci.* 14 (2019), 7317 – 7331
22. C. Saka, *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* 95 (2012) 21–24.
23. W. Qu, Y. Xu, A. Lu, X. Zhang, W. Li, *Bioresour. Technol.* 189 (2015) 285–291.
24. Y. Fan, Y. Cai, X. Li, L. Jiao, J. Xia, X. Deng, *Energy Convers. Manag.* 138 (2017) 106–118.
25. J. Gonzalez, S. Roma, J.M. Encinar, G. Marti, *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* 85 (2009) 134–141.
26. T. Uysal, G. Duman, Y. Onal, I. Yasa, J. Yanik, *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* 108 (2014) 47–55.
27. M.A. Yahya, Z. Al-qodah, C.W.Z. Ngah, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 46 (2015) 218–235.
28. E. Azwar, W.A. Wan Mahari, J.H. Chuah, D.V.N. Vo, N.L. Ma, W.H. Lam, S.S. Lam,

- Int. J. Hydrogen Energy*. 43 (2018) 20811–20821.
29. E. Taer, R. Taslim, W.S. Mustika, B. Kurniasih, Agustino, A. Afrianda, Apriwandi, *Int. J. Electrochem. Sci.* 13 (2018) 8428–8439.
  30. A.A. Mohammed, C. Chen, Z. Zhu, *J. Colloid Interface Sci.* 538 (2019) 308–319.
  31. O. Boujibar, A. Ghosh, O. Achak, T. Chafik, F. Ghamouss, *J. Energy Storage*. 26 (2019) 100958.
  32. W. Jiang, J. Pan, X. Liu, *J. Power Sources*. 409 (2019) 13–23.
  33. J. Deng, T. Xiong, H. Wang, A. Zheng, Y. Wang, *ACS Sustain. Chem. Eng.* 4 (2016) 3750–3756.
  34. Rangabhashiyam. S, Balasubramanian. P, *Ind. Crops Prod.* 128 (2019) 405–423.
  35. Y. Cai, Y. Luo, H. Dong, X. Zhao, Y. Xiao, Y. Liang, H. Hu, Y. Liu, M. Zheng, *J. Power Sources*. 353 (2017) 260–269.
  36. S. Yallappa, M. Shivakumar, K.L. Nagashree, M.S. Dharmaprakash, A. Vinu, G. Hegde, *J. Electrochem. Soc.* 165 (2018) 614–619.
  37. Y. Liu, Y. Wang, G. Zhang, W. Liu, D. Wang, Y. Dong, *Mater. Lett.* 176 (2016) 60–63.
  38. M. Xue, W. Lu, C. Chen, Y. Tan, B. Li, C. Zhang, *Mater. Res. Bull.* 112 (2019) 269–280.
  39. K.S.W. Sing, *Pure Appl. Chem.* 54 (1982) 2201–2218.
  40. S. Ahmed, A. Ahmed, M. Rafat, *J. Saudi Chem. Soc.* 22 (2018) 993–1002.
  41. L. Muniandy, F. Adam, A. Rahman, E. Ng, *Microporous Mesoporous Mater.* 197 (2014) 316–323.
  42. G. Zhang, Y. Chen, Y. Chen, H. Guo, *Mater. Res. Bull.* 102 (2018) 391–398.
  43. R.T. Ayinla, J.O. Dennis, H.M. Zaid, Y.K. Sanusi, F. Usman, L.L. Adebayo, *J. Clean. Prod.* 229 (2019) 1427–1442.
  44. Y. Wang, Q. Qu, S. Gao, G. Tang, K. Liu, S. He, C. Huang, *Carbon N. Y.* 155 (2019) 706–726.
  45. H. Wei, H. Wang, A. Li, H. Li, D. Cui, M. Dong, J. Lin, J. Fan, J. Zhang, H. Hou, Y. Shi, D. Zhou, Z. Guo, *J. Alloys Compd.* 820 (2020) 153111.
  46. C.I. Contescu, S.P. Adhikari, N.C. Gallego, N.D. Evans, *J. Carbon Res.* 4 (2018) 9–13.
  47. C. Kim, J. Lee, J. Kim, K. Yang, 23 (2006) 592–593.
  48. E. Taer, A. Apriwandi, Y.S. Ningsih, R. Taslim, Agustino, *Int. J. Electrochem. Sci.* 14 (2019) 2462–2475.
  49. C. Xiao, W. Zhang, H. Lin, Y. Tian, X. Li, Y. Tian, H. Lu, *New Carbon Mater.* 34 (2019) 341–348.
  50. K. Scott, *Microb. Electrochem. Fuel Cells*, Elsevier Ltd., Newcastle upon Tyne, 2016: pp. 29–66.
  51. Q. Sun, T. Jiang, G. Zhao, J. Shi, *Int. J. Electrochem. Sci.* 14 (2019) 1–14.
  52. B. Men, P. Guo, Y. Sun, Y. Tang, Y. Chen, J. Pan, P. Wan, *J. Mater. Sci.* 54 (2019) 2446–2457.

**LAMPIRAN 1**  
**Full Paper Jurnal Internasional**



# Interconnected activated carbon nanofiber derived from mission grass for electrode materials of supercapacitor

Rika Taslim<sup>1</sup>, Muhammad Ihsan Hamdy<sup>1</sup>, Merry Siska<sup>1</sup>, Erman Taer<sup>2</sup>, Deris Afdal Yusra<sup>2</sup>, Apriwandi<sup>2</sup>, Marhama Jelita<sup>3</sup>, Susi Afriani<sup>3</sup> and Novi Gusnita<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Industrial Engineering, State Islamic University of Sultan Syarif Kasim, 28293 Simpang Baru, Riau, Indonesia

<sup>2</sup> Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Riau, 28293 Simpang Baru, Riau, Indonesia

<sup>3</sup> Department of Electrical Engineering, State Islamic University of Sultan Syarif Kasim, 28293 Simpang Baru, Riau, Indonesia

E-mail: rikataslim@gmail.com

Received 30 April 2021

Accepted for publication 17 July 2021

Published 4 October 2021



CrossMark

## Abstract

The porous carbon electrode materials for supercapacitors derived from biomass waste attract lots of attention due to their natural abundance and low cost. This study therefore aims at developing a cost-effective and sustainable method for synthesising porous activated carbon derived from mission grass biomass waste (MG). The one-stage integrated pyrolysis for carbonisation, physical activation, and KOH activation was used to obtain porous activated carbon monolith. The surface morphology and pore structures consist of interconnected activated carbon nanofiber with high carbon content of 90.45%. The KOH impregnation successfully changed the morphology from the rod-like shape into a nanofiber structure. Due to their synergistic effect, the specific capacitance enhanced from 115 to 171 F g<sup>-1</sup> in 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> aqueous electrolyte with an egg duck shell membrane as a separator. The result showed that the maximum energy and power densities were 23.75 Wh kg<sup>-1</sup> and 96.94 W kg<sup>-1</sup>, respectively. Therefore, these unique properties enable the mission grass to become a high potential for porous carbon electrode materials as supercapacitor energy storage.

Keywords: nanofiber, porous carbon, electrode materials, supercapacitor, energy storage

## 1. Introduction

Energy is a basic necessity for humans all over the world, as well as water and food. Its consumption tends to increase significantly every year, thereby lowering the availability of fossil fuels as the main energy source. This led to the development of numerous renewable energy technologies such as solar cells, turbines, and wind power, as an alternative electricity generation. The availability of these resources is still limited, therefore, storage devices with high energy and power densities, as well as excellent rate performance such as batteries, supercapacitors, and electrolyte capacitor are needed [1, 2]. Furthermore, supercapacitor is a type of energy storage

device that is considered to have high performance due to their relatively higher energy density than capacitors and greater power density than batteries [3, 4]. The electrode material is the main substance used in the production of high-performance supercapacitors, including electric double-layer capacitors (EDLC) and pseudo-capacitor [3, 5]. Due to the high surface area, better electrical conductivity, and more stable electrochemical properties of porous carbon, it is defined as the ideal electrode material for EDLC [6]. The porous carbon materials often used are nanotubes, activated carbon, graphene [7], and metal-organic [5, 8]. Conversely, the electrodes for pseudo-capacitive material used to store high energy from redox reactions are derived from metal

oxide transitions [9] and conductive polymers [10]. All electrode materials from both types of supercapacitors have superior properties such as numerous pore structures, highly accessible surface areas, and unique nanostructure morphology. These features contribute to provide abundant pathways for ion diffusion, more massive active sites for electrochemical reactions, and enhanced energy output [3, 11–13]. However, there are challenges associated with the preparation of supercapacitor electrodes such as its expensive cost, complex synthetic materials, multi-step preparation methods, and relatively complicated.

Presently, many studies reported the potential of biomass as an active carbon base material for supercapacitor electrodes with relatively low-cost preparation and environmental advantages [14–16]. In addition, the basic components of biomass such as C, H, O and N elements provide a significant advantage in the pseudo-capacitive behaviour. In addition, biomass raw material has a unique morphological structure of complex lignocellulose compounds such as nanomaterial including nanofiber, nanosheet, and nanospheres, as well as the interconnection between micro, meso and macroporous [17–19]. The synergy of these benefits increases energy in EDLC. For example, nanofiber and nanosheet structures were obtained from leaves-based with specific capacitance range of 25–150 F g<sup>-1</sup> [20, 21]. In addition, Wang *et al* converted pinewood to activated carbon nanofiber via solar pyrolysis which produces an excellent specific capacitance of 349 F g<sup>-1</sup> [22]. However, all of biomass wastes do not always exhibit nanostructures of porous carbon materials for supercapacitor. Therefore, it is necessary to know the potential biomasses that contain an effective lignocellulose content to produce nanostructure materials.

Mission grass (*Pennisetum polystachyon*) is one of the weeds commonly found in Indonesia, Philippines, Thailand, and Malaysia. This plant belongs to the Poaceae family and grows wild. In Indonesia, mission grass is widely cultivated for livestock feed purposes, and it is rich in lignocellulose complex compounds and consists of 39.8%–40.0% cellulose, 23.3%–29.2% hemicellulose, 6.2%–14.6% lignin, and 3.3%–7.5% ash [23]. Therefore, it is potentially converted as activated carbon to supercapacitor electrodes.

This study aims to convert mission grass waste into interconnected macroporous and mesoporous carbon using effective-cost, simple methods for supercapacitor electrodes as high-performance energy storage devices. One of the stage integrated pyrolysis used for both carbonization and physical activation is KOH impregnation, which is selected to convert lignocellulose mission grass into activated carbon. Electrodes were then fabricated in the coin type with 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> as aqueous electrolyte. The results showed that the activated carbon exhibits interconnected macropore and mesopore structures. Furthermore, the KOH impregnation successfully changes the morphology structure from the rod-like shape into the nanofiber. The symmetric capacitor double layers show maximum specific capacitance of 171 F g<sup>-1</sup> at a scan rate of 1 mV s<sup>-1</sup> in a two-electrode system. These unique properties enable the mission grass to become a high potential

for porous carbon electrode materials as supercapacitor energy storage.

## 2. Experimental section

### 2.1. Preparation of porous carbon monolith

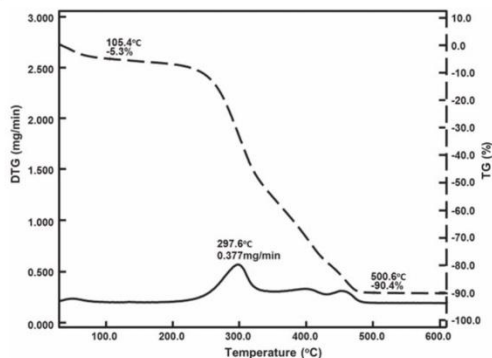
The mission grass (MG) waste is collected from swampy areas located in Pekanbaru, Riau Province. This biomass waste is cut and cleaned with distilled water and dried in an oven at 110 °C. Approximately 30 g of the sample is pre-carbonised in an oven at 250 °C and converted into powder using ball milling. Furthermore, the pre-carbonised powder samples were impregnated with KOH solution using three different concentrations of 0.3, 0.5, and 0.7 M in a hot plate at a temperature of 80 °C and 300 rpm. These different concentrations produced samples of MG0.3, MG0.5, and MG0.7, respectively, which are dried after 2 days. Carbon powder is converted into the monolith form using a hydraulic press with the one-stage pyrolysis at room temperature to a maximum temperature of 600 °C in an N<sub>2</sub> gas environment, followed by the physical activation at high temperature of 850 °C at a CO<sub>2</sub> gas atmosphere. Finally, the carbon monolith samples were neutralized using distilled water.

### 2.2. Materials characterisation

The density analysis was evaluated in accordance with the dimension, mass, and volume of porous carbon monolith. Thermal analysis was carried out using thermogravimetric analysis (TG/DTG) and Shimadzu TGA-50 at heating and flow rates of 10 °C min<sup>-1</sup> and 100 ml min<sup>-1</sup>, respectively in N<sub>2</sub> atmosphere. The degree of crystallinity of the carbon monolith was characterized by powder X-ray diffraction (XRD) method using the Phillip X-Pert Pro PW3060/10 instrument at a Cu-K<sub>α</sub> radiation. In addition, the surface morphology and chemical composition of the samples were investigated to determine their scanning electron microscopy and energy dispersive spectroscopy (EDS) using the JEOL-JSM-6510LA instrument with an applied voltage of 15 kV. The porosity properties of the samples were reviewed using N<sub>2</sub> gas adsorption/desorption analysis with a Quantachrome TouchWin Version 1.2 instrument at degassing temperature of 300 °C.

### 2.3. Electrochemical measurement

The electrochemical performances of porous carbon monolith as supercapacitor electrodes were evaluated in the cyclic voltammetry (CV) by using a CV UR Rad-Er 5841 instrument calibrated by VersaStat II Princeton Applied Research, at an error rate of ±6.05%. Furthermore, the evaluated supercapacitor cell consists of a porous carbon monolith in the two-electrode system of 1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> as an electrolyte assembled in coin type. The membrane egg duck shell was selected as a separator with the specific capacitance evaluated by using the standard equation. The potential window was



**Figure 1.** TG/DTG curve for pre-carbonised mission grass powder.

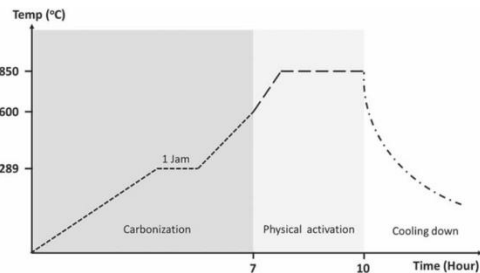
applied in a range of 0–1 V in different scanning rates of 1, 2, 5, and 10  $\text{mV s}^{-1}$ .

### 3. Result and discussion

#### 3.1. Thermal analysis

The carbonization process is an important factor used to convert biomass into porous carbon materials. Its temperature has a large influence on the pyrolysis process, and it is an essential factor in determining the carbon content of decomposed lignocellulose. The temperature suitable for the carbonization of porous carbon in the  $\text{N}_2$  atmosphere was investigated using the TG/DTG analysis, as shown in figure 1. The differential thermal analysis/DTG shows two stages of significant weight loss with an increase in temperature. In the first stage, a weight-loss of 5.3% at a temperature of 105.4 °C was obtained with a drying and preheating stage caused by moisture evaporation [24, 25]. The second stage of weight-loss is found in the temperature range of 250 °C–500 °C at 85.1%. This stage correlates with the decomposition of lignocellulose compounds, including hemicellulose, cellulose, and lignin at different temperature ranges of 150 °C–215 °C [26]. Furthermore, the temperature of thermal degradation for cellulose is higher in the range of 300 °C–400 °C due to its regular structure and good thermal stability. In addition, cellulose has a relatively homogeneous unit, therefore, the pyrolysis temperature range is relatively narrow, at approximately 100 °C, capable of producing more volatile matters within a short time and less amount of solid residues [27, 28]. However, the lignin compound was decomposed in the high-temperature range of 190 °C–900 °C, and at 600 °C no further significant decrease was observed, with a total weight loss of 90.4% [28]. This phenomenon shows that the optimal carbonisation temperature of the activated carbon preparation is 600 °C.

Furthermore, the thermal gravimetry (TG) profile shows the rate of weight loss of the sample with increasing temperature. The instrument does not indicate a significant peak from room temperature to 250 °C. The rate of weight loss



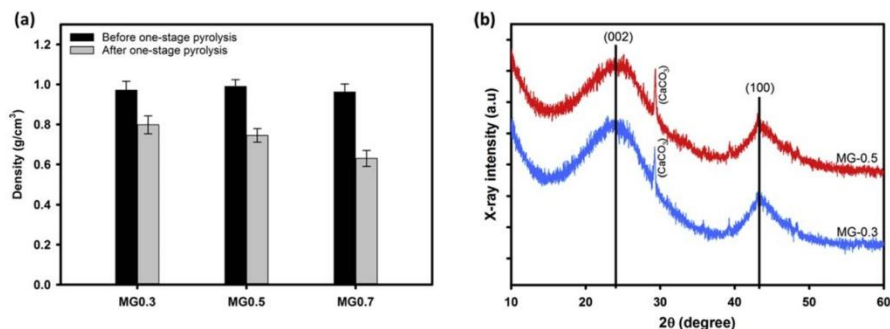
**Figure 2.** Profile of the one-stage integrated pyrolysis process.

dramatically increases from 250 to 297.6 °C at 0.377  $\text{mg min}^{-1}$ . This phenomenon is indicated by the degradation of lignocellulose compounds, which occurs simultaneously [27, 28]. Hemicellulose, cellulose, and lignin are maximally decomposed, thereby creating the most significant weight loss. In the second stage, this analysis is related to DTG. Further temperature increases are no longer observed due to the rise in mass loss. Therefore, an initial temperature of 297.6 °C was used for 1 h during the carbonization process. The selection of initial and maximum carbonization temperature is expected to decompose lignocellulose compounds and modify the structure of porous carbon, which is advantageous for the performance of supercapacitor electrodes. Figure 2 shows a detailed analysis of the carbonization and physical activation of the pyrolysis process.

#### 3.2. Density and degree of crystallinity behaviour

The one-stage integrated pyrolysis process for the carbonization and physical activation of carbon has a profound effect on physicochemical properties, which includes porous monolith. Density is the initial analysis of physical properties obtained at the end of the pyrolysis and chemical activation processes. The carbonization and physical activation of the pyrolysis process gradually reduces the density of monolith carbon, as shown in figure 3(a). The carbonization from room temperature to a maximum temperature of 600 °C reduces and decomposes all complex compounds, including moisture, hemicellulose, cellulose, and lignin in the TG/DTG analysis. This process allows an increased carbon content and provides porosity effect on carbon monoliths, thereby reducing mass and volume. However, the co-product of carbonization in the form of solid tar covers the formed pores. Therefore, it is necessary to activate it with high temperature [29]. Physical activation from a temperature of 600 °C–850 °C eliminates co-product carbonization that covers the pore and exhibits a relatively better pore structure [19, 29].

In addition, it is also possible to produce interconnected pores such as meso and macropores. This phenomenon reduces the density of porous carbon monoliths and enhances the performances of supercapacitor electrodes. Figure 3(a) shows that all samples have decreased density at the end of the one-stage pyrolysis process. Furthermore, three different KOH activators, namely 0.3, 0.5, and 0.7 M applied in all



**Figure 3.** (a) Density of porous carbon, (b) XRD pattern of porous carbon.

samples, showed a significant effect on density. The addition of KOH concentrations from 0.3 to 0.7 M has the ability to reduce the density from 25 to 46%, thereby creating more connected pores in the porous carbon monoliths [30]. This analysis correlates with the use of SEM and N<sub>2</sub> gas adsorption described in the following subsection.

The crystal structures of porous carbon monolith were analysed using the XRD pattern. This created a significant broad peaks at  $2\theta = 23.2^\circ$ – $25.3^\circ$  and  $44.5^\circ$ – $45.7^\circ$  which corresponded to (002) and (100) reflections in both MG0.3 and MG0.5 samples with a typical carbon characteristic of JCPDS No. 41–1487. This result is similar to other reports such as porous carbon derived from baobab fruit shell [31], banana stem [30], and argan [32] which showed the appearance of broadening peaks at 23 and 43°, 24 and 44°, and 25 and 43°, respectively. All broad peaks showed a typical amorphous carbon structure. However, the broadness of XRD peaks was found to largely shift at (002) diffraction from 23.2 to 25.3 in the MG0.5 when compared with MG0.3. The carbon structure is more amorphous by KOH activation at a higher concentration from 0.3 to 0.5 M, and this result correlated with SEM analysis to produce more interconnected meso- and macropores in MG0.5 porous carbon monolith. Furthermore, the XRD pattern also observed a sharp peak at  $2\theta$  of  $29.6^\circ$ , which indicated the presence of calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>) (JCPDS No. 82–1690) in both MG0.3 and MG0.5. Meanwhile, more addition of KOH concentrations from 0.3 to 0.5 M reduces the CaCO<sub>3</sub> compound in porous carbon monolith, with a higher concentration in MG0.5 XRD pattern. This existence is extracted from the common content of calcium in biomass materials, which is confirmed by EDS analysis.

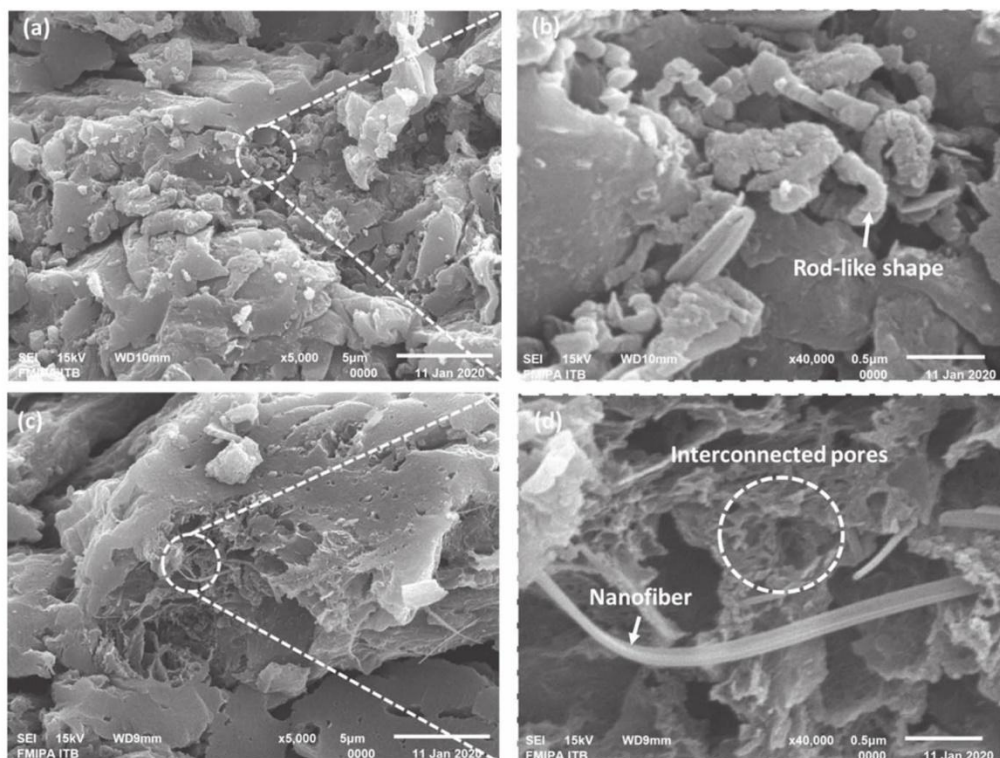
### 3.3. Surface morphology and porous properties

The surface morphology and pore structure of porous carbon monolith derived from mission grass biomass waste material are characterised by scanning electron microscopy, as shown in figure 4. The pyrolysis process and impregnation of the chemical reagent are used to change and control the surface morphology. Furthermore, the one-stage integrated pyrolysis, as well as the carbonisation and physical activation processes,

is used as the binding chains of the lignocellulose components to separate hemicellulose and lignin from the cellulose contents. The original shape of cellulose is rod-like, and at high temperatures, it has the potential to be microfibrer and nanofiber [33], while hemicellulose and lignin tend to form globular morphology [16, 33, 34]. At high temperature, the activation process has the potential to form nanosheet and nanosphere structures, as previously reported [35, 36]. Furthermore, KOH activation is beneficial for larger SSA with suitable porous and interconnected pore structure. These benefits are contributing factors as the ion pathways for higher powers and specific capacitance supercapacitor electrode [37, 38].

The SEM micrograph of MG0.3 and MG0.5 samples showed that similar morphology consists of the carbonaceous fragments with irregular sizes, ranging from several hundreds of micrometers, as shown in figures 4(a) and (b). Furthermore, MG0.3 sample exhibited a structure of the aggregated porous-flakes with apparent macropores. The thermochemical decomposition of KOH causes the etching of solid carbon chains in the sample and produces morphology flaky-like shapes with macropores in a range of 234 nm, as shown in figure 4(b). In addition, the morphology of a short rod-like shape has a diameter of 23 nm.

Figure 4(c) showed rougher and hollow-fiber samples of MG0.3 and MG0.5 with clear macropore and mesopore structures. In particular, there are many sub-macropores in this amorphous structure, therefore, the addition of KOH concentration has the ability to modify the structure and morphology of porous carbon monoliths. The MG0.5 pyrolysed at high temperatures obtained hierarchical interconnected porous structures, as shown in figure 4(d), however, undeveloped micropores, as seen in the pore distribution curves. An increase in KOH concentration to 0.5 M creates more carbon chains and widens the pores due to high-temperature pyrolysis, and obtains interconnected pores hierarchically. In addition, microfibrer structures are also found on GM0.5 samples due to the addition of KOH activator, which decomposes the hemicellulose and lignin attached to cellulose and further reduces the size of rod-like cellulose to microfibrer. This interconnected mesopores and

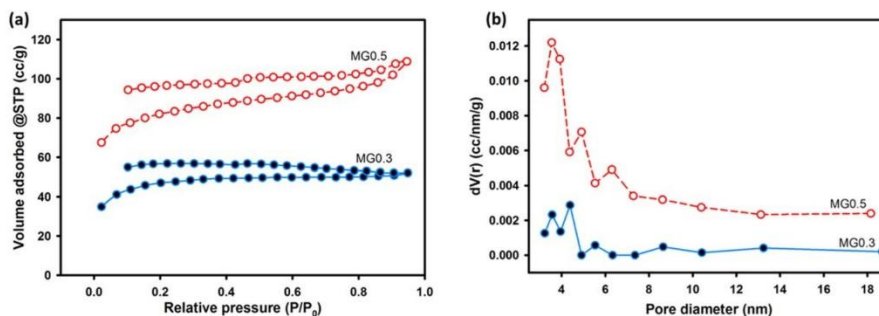


**Figure 4.** SEM images for (a) MG0.3, (b) enlarge of MG0.3, (c) MG0.5, (d) enlarge of MG0.5.

macropores with decorated microfiber structures make a high contribution to the surface area, and ion transfer on the electrode/electrolyte interface, thereby increasing the supercapacitor performance, as confirmed by the analysis of  $N_2$  gas adsorption and the cyclic voltammetry curve. In general, there is a unique interconnection between mesopore and macropore structures, which interacts with MG biomass, one-stage pyrolysis, and KOH activation, thereby, producing a carbon framework and small gas molecules of  $H_2O$ ,  $CO_2$ , and  $CO$  [27], to form micropores. However, when carbon is pyrolysed at high temperatures in one stage, its micropores are integrated with larger sizes destroyed to form stable structures of distributed mesopores and macropores. This unique structure is far more useful for the transportation and storage of electrolyte ions, thereby increasing the performance of supercapacitor electrodes.

Figure 5(a) shows the  $N_2$  gas adsorption/desorption curves for MG0.3 and MG-0.5 samples used to observe the porous behaviour of carbon monolith. Generally, both MG-0.3 and MG-0.5 profiles exhibit a combination of types I and IV based on IUPAC classification [39]. The significant increase of  $N_2$  gas adsorption at a relative low pressure of  $P/P_0 < 0.1$  suggests a small amount of microporous structure

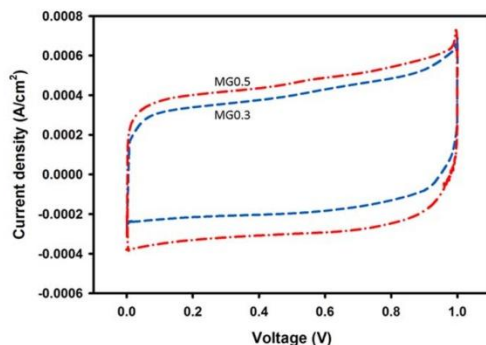
[40]. The hysteresis loop with a typical H4 type at a relative pressure of  $P/P_0 = 0.4-0.95$  indicates the presence of numerous mesopores [41]. However, all samples do not show an ideal H4 type of hysteresis because at a relative pressure  $P/P_0 < 0.4$ , the desorption line fails to blend with the adsorption, which indicates that the presence of  $N_2$  gas is trapped in the carbon monolith pores [42]. This phenomenon is caused by the formation of like-bottle pores, which have a narrow pore neck enabling it to hold the  $N_2$  gas till the desorption process is complete [43]. Furthermore, the MG-0.5 sample showed a significant increase in the relatively high pressure of  $P/P_0 = 0.9-0.98$ , indicating that there are a lot of macropores not found in the MG-03 sample. The specific surface area for both samples was evaluated using the BET method of  $152.072$  and  $266.159 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  for MG-0.3 and MG-0.5 samples, respectively. The addition of KOH concentrations from 0.3 to 0.5 M increased the specific surface area and affected the number of carbon monolith pore combinations confirmed by the  $N_2$  gas absorption profile. In the MG-0.5 sample, real interconnected pores are formed, which comprise micropores, mesopores, and macropores, which are not found in MG0.3. These pore combinations greatly contribute to



**Figure 5.** (a)  $N_2$  gas adsorption curve of MG0.3 and MG0.5, (b) Pore size distribution of MG0.3 and MG0.5.

**Table 1.** The chemical composition of both MG-0.3 and MG-0.5 samples.

Element contents	C (%)	O (%)	Na (%)	Si (%)	K (%)	Ca (%)
MG0.3	88.41	9.47	0.54	0.85	0.46	0.28
MG0.5	90.45	7.67	0.55	0.23	0.90	0.20



**Figure 6.** CV curve for MG-0.3, MG-0.5, and MG-0.7 samples.

**Table 2.** The specific capacitance, energy, and power densities of MG0.3 and MG0.5 supercapacitor cells.

Supercapacitor cells	$C_{sp}$ ( $F g^{-1}$ )	$E$ ( $Wh kg^{-1}$ )	$P$ ( $W kg^{-1}$ )
MG0.3	115	15.97	57.55
MG0.5	171	23.75	85.58

providing electrolyte ion active sites, thereby increasing the ion diffusion rate into the electrode interface [44].

These results confirmed the presence of XRD and SEM analyses. In addition, the pore distribution was evaluated using the BJH method for MG0.3 and MG0.5 samples. Figure 5(b) shows the pore diameter distribution profiles, both samples confirm mesopore size in the range of 3 to 20 nm. Furthermore, the addition of KOH concentration increases the average pore diameter from 3.2 to 3.5 nm for MG0.3 and MG0.5 samples. Conversely, the presence of mesopores in

MG0.5 samples is greater than in MG0.3, which has the ability to increase the surface area and interconnection in all pores.

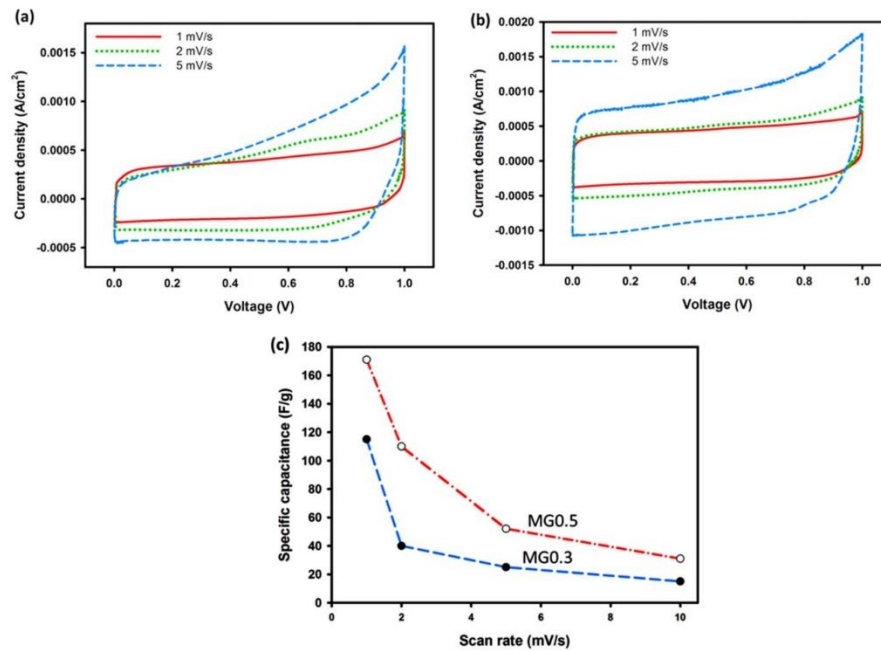
#### 3.4. Energy dispersive spectroscopy analysis

Furthermore, the chemical composition of MG0.3 and MG0.5 was reviewed by using energy dispersive spectroscopy (EDS), which was summarised in table 1. The porous carbon monolith preparation derived from mission grass waste successfully exhibited high carbon content at a percentage of 88.41%–90.45%. The increasing KOH concentration showed no significant effect on the percentage of carbon content.

Oxygen is the highest element after carbon, with a percentage of 7.67%–9.47%, which influences the hydrophilic behaviour [45]. The other elements are also found in a relatively low percentage such as sodium, silica, potassium, and calcium, which are related to compounds commonly found in biomass as raw materials [46]. The results obtained at EDS correlate with several previous reports that use biomass as a raw material of carbon monoliths such as bamboo [47], pineapple leaves [48], rice husk [49], and banana stem [30].

#### 3.5. Electrochemical properties

The electrochemical behaviours and capacitive performances of the carbon electrodes derived from mission grass waste were evaluated in the two systems using 1 M  $H_2SO_4$  electrolyte with potential windows of 0–1 V. Figure 6 shows the cyclic voltammetry (CV) profiles of MG0.3 and MG0.5 at a scan rate of  $1 mV s^{-1}$ . All the profiles exhibit quasi-rectangular shapes, thereby leading to an ideal symmetric capacitor double-layer behaviour [50]. Furthermore, the area of quasi-rectangular shape indicates the specific capacitance of the



**Figure 7.** CV curve at various scan rates of (a) MG0.3, (b) MG0.5, and (c) specific capacitance versus scan rate variations for all samples.

**Table 3.** The comparing the electrochemical behaviour with other carbon-based.

Sources	Morphological structure	$C_{sp}$ (F g <sup>-1</sup> )	Electrolyte	References
Banana steam	Nanofiber	74	1 M Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	[53]
Waste shaddock	Hierarchical porous	148	1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	[54]
Cattail fiber	Nanofiber	38.59	1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	[55]
Mangosteen peel	Stone	114.8	6 M KOH	[56]
American poplar fruit	Tubular-like	58.71	6 M KOH	[57]
Chitin seafood	Nanofiber	95	6 M KOH	[58]
Pineapple crown	Nanofiber	150	1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	[48]
Mission grass	Nanofiber	171	1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	This work

supercapacitor with the samples used to obtain 115 and 171 F g<sup>-1</sup>, respectively. The addition of the KOH activator concentration exhibits a significant increase in specific capacitance from 115 to 171 F g<sup>-1</sup>. It also effectively forms and changes the pore structure of carbon monoliths with a higher concentration capable of increasing the specific surface area, as confirmed by N<sub>2</sub> gas adsorption/desorption analysis. KOH also allows the formation of macropores and mesopores, as confirmed by SEM analysis. The macropores have the ability to shorten the ion diffusion distance, while the mesopores provide fast ion electrolyte transport and large accessible surface areas for the formation of electrical double layers. This phenomenon causes a significant increase in specific capacitance from sample MG0.3 to MG0.5. This obtained

specific capacitance is relatively similar to other sources which are shown in table 3.

The energy and power density of the electrode supercapacitor were evaluated by standard equations (1) and (2) [51, 52] based on specific capacitance data, as shown in table 2.

$$E = \frac{C_{sp} V^2}{7.2}, \quad (1)$$

$$P = \frac{3600E}{\Delta t}, \quad (2)$$

Where  $C_{sp}$  is the specific capacitance,  $V$  is the discharge voltage, and  $\Delta t$  is the discharge time (s).

The maximum energy and power density found in the MG0.5 sample were as high as 23.75 Wh kg<sup>-1</sup> and 85.58 W kg<sup>-1</sup>, respectively. The high energy and power density of the MG0.5 supercapacitor cell are mainly attributed to its high specific capacitance. Therefore, the symmetric supercapacitors based on porous carbon materials possess excellent electrochemical performances.

Figures 7(a) and (b) show the CV curves for samples MG0.3 and MG0.5 in the variation of scan rate ranging from 1 to 10 mV s<sup>-1</sup>. All samples show rectangular shapes, which show that supercapacitor electrodes have the ability to transport ions relatively fast. A significant increase in the current density was also observed, which is attributed to the unique hierarchical pore structure and good conductivity of the supercapacitor electrodes. Figure 7(c) shows the specific capacitance versus the scan rate variations for all the samples. The increasing scan rates occurred due to the gradual decrease in specific capacitance because of the variety of controlling factors, which include the pore size distribution, a combination of micro- and mesopores, and specific surface areas. This is normally found in electrochemical double-layer capacitors.

#### 4. Conclusion

In conclusion, this study analyses the cost-effectiveness associated with the one-stage integrated pyrolysis and KOH impregnation in the preparation of porous activated carbon derived from mission grass biomass waste. The porous carbon monolith comprises amorphous and interconnected macroporous and mesoporous structures. The study also shows that the addition of KOH concentration increased the specific surface area from 152.072 to 266.159 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> in the MG0.5 sample. Meanwhile, the symmetric capacitor double layers exhibit a rather high charge storage capacity with a specific capacitance of 171 F g<sup>-1</sup> at a scan rate of 1 mV s<sup>-1</sup> in a two-electrode system. Furthermore, the MG-0.5 sample shows high energy and power densities of 23.75 Wh kg<sup>-1</sup> and 96.94 W kg<sup>-1</sup>, respectively in a coin-type symmetric device. Therefore, the porous carbon derived from mission grass with effective-cost, sustainable, and abundant resource has potential for the supercapacitor energy storage application.

#### Acknowledgments

This study was funded by the collaborative grants between universities, State Islamic University of Sultan Syarif Kasim, Riau, contract number: 1244/Un.04/PPK/TL.01/05/2021 with the title 'Synthesis of activated carbon from mission grass as an electrode for a supercapacitor energy storage device'.

#### References

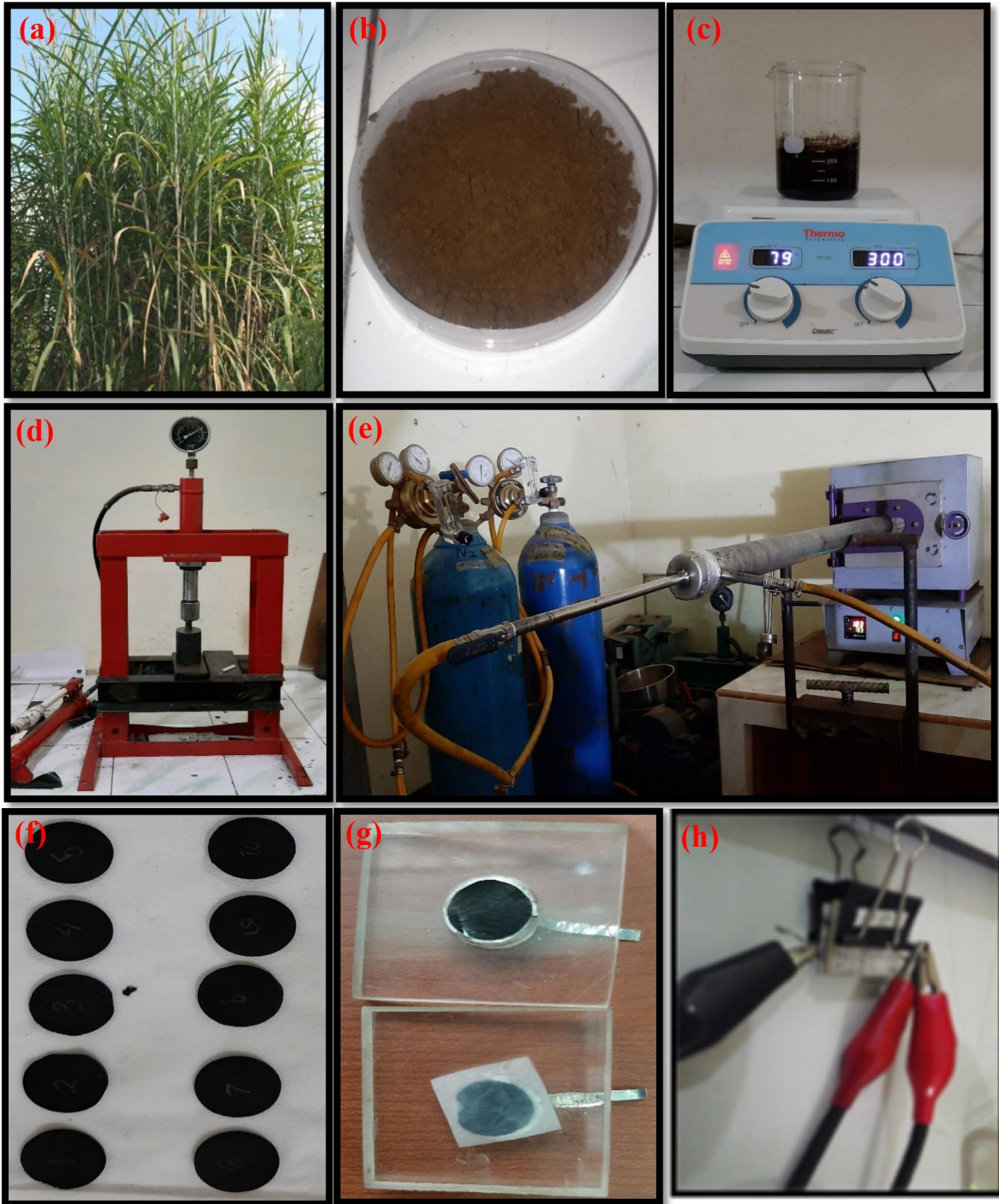
- [1] Young C, Park T, Yi J W, Kim J, Hossain M S A, Kaneti Y V and Yamauchi Y 2018 *ChemSusChem* **11** 3546
- [2] Zhang S et al 2020 *Chem. Eng. J.* **396** 125154
- [3] Burke A 2000 *J. Power Sources* **91** 37
- [4] González A, Goikolea E, Barrena J A and Mysyk R 2016 *Renew. Sustain. Energy Rev.* **58** 1189
- [5] Miller E E, Hua Y and Tezel F H 2018 *J. Energy Storage* **20** 30
- [6] Young C, Kim J, Kaneti Y V and Yamauchi Y 2018 *ACS Appl. Energy Mater.* **1** 2007
- [7] Chen T, Li M, Zhou L, Ding X, Lin D, Duan T, Yang G, He R and Zhu W 2020 *ACS Sustain. Chem. Eng.* **8** 6458
- [8] Poonam S K, Arora A and Tripathi S K 2019 *J. Energy Storage* **21** 801
- [9] Tan H, Tang J, Kim J, Kaneti Y V, Kang Y M, Sugahara Y and Yamauchi Y 2019 *J. Mater. Chem. A* **7** 1380
- [10] Iro Z S, Subramani C and Dash S S 2016 *Int. J. Electrochem. Sci.* **11** 10628
- [11] Zhai Y, Dou Y, Zhao D, Fulvio P F, Mayes R T and Dai S 2011 *Adv. Mater.* **23** 4828
- [12] Li X and Wei B 2013 *Nano Energy* **2** 159
- [13] Gurmeet S and Amrita P 2015 *J. Pharmacogn. Phytochem. JPP* **5** 8
- [14] Abioye A M and Ani F N 2015 *Renew. Sustain. Energy Rev.* **52** 1282
- [15] González-García P 2018 *Renew. Sustain. Energy Rev.* **82** 1393
- [16] Rangabhashiyam S and Balasubramanian P 2019 *Ind. Crops Prod.* **128** 405
- [17] Li Y, Wang X and Cao M 2018 *J. CO<sub>2</sub> Util.* **27** 204
- [18] Zhang W L, Xu J H, Hou D X, Yin J, Liu D B, He Y P and Lin H B 2018 *J. Colloid Interface Sci.* **530** 338
- [19] Azwar E, Wan Mahari W A, Chuah J H, Vo D V N, Ma N L, Lam W H and Lam S S 2018 *Int. J. Hydrogen Energy* **43** 20811
- [20] Apriwandi A, Agustino A, Taer E and Taslim R 2020 *J. Phys. Conf. Ser.* **1655** 16
- [21] Taer E, Natalia K, Apriwandi A, Taslim R, Agustino A and Farma R 2020 *Adv. Nat. Sci. Nanosci. Nanotechnol.* **11** 025007
- [22] Wang T et al 2020 *Cell Reports Phys. Sci.* **1** 100079
- [23] Tatijarem P, Prasertwasu S, Komalwanich T, Chaisuwan T, Luengnarumitchai A and Wongkasemjit S 2013 *Bioresour. Technol.* **143** 423
- [24] Saka C 2012 *J. Anal. Appl. Pyrolysis* **95** 21
- [25] Qu W, Xu Y, Lu A, Zhang X and Li W 2015 *Bioresour. Technol.* **189** 285
- [26] Fan Y, Cai Y, Li X, Jiao L, Xia J and Deng X 2017 *Energy Convers. Manag.* **138** 106
- [27] Gonzalez J, Roma S, Encinar J M and Marti G 2009 *J. Anal. Appl. Pyrolysis* **85** 134
- [28] Uysal T, Duman G, Onal Y, Yasa I and Yanik J 2014 *J. Anal. Appl. Pyrolysis* **108** 47
- [29] Yahya M A, Al-qodah Z and Ngah C W Z 2015 *Renew. Sustain. Energy Rev.* **46** 218
- [30] Taer E, Taslim R, Mustika W S, Kurniasih B, Agustino and Afrianda A Apriwandi 2018 *Int. J. Electrochem. Sci.* **13** 8428
- [31] Mohammed A A, Chen C and Zhu Z 2019 *J. Colloid Interface Sci.* **538** 308
- [32] Boujibar O, Ghosh A, Achak O, Chafik T and Ghamouss F 2019 *J. Energy Storage* **26** 100958
- [33] Jiang W, Pan J and Liu X 2019 *J. Power Sources* **409** 13
- [34] Deng J, Xiong T, Wang H, Zheng A and Wang Y 2016 *ACS Sustain. Chem. Eng.* **4** 3750
- [35] Cai Y, Luo Y, Dong H, Zhao X, Xiao Y, Liang Y, Hu H, Liu Y and Zheng M 2017 *J. Power Sources* **353** 260
- [36] Yallappa S, Shivakumar M, Nagashree K L, Dharmaprakash M S, Vinu A and Hegde G 2018 *J. Electrochem. Soc.* **165** H614
- [37] Liu Y, Wang Y, Zhang G, Liu W, Wang D and Dong Y 2016 *Mater. Lett.* **176** 60
- [38] Xue M, Lu W, Chen C, Tan Y, Li B and Zhang C 2019 *Mater. Res. Bull.* **112** 269
- [39] Sing K S W 1982 *Pure Appl. Chem.* **54** 2201



- [40] Ahmed S, Ahmed A and Rafat M 2018 *J. Saudi Chem. Soc.* **22** 993
- [41] Muniandy L, Adam F, Rahman A and Ng E 2014 *Microporous Mesoporous Mater.* **197** 316
- [42] Zhang G, Chen Y, Chen Y and Guo H 2018 *Mater. Res. Bull.* **102** 391
- [43] Ayinla R T, Dennis J O, Zaid H M, Sanusi Y K, Usman F and Adebayo L L 2019 *J. Clean. Prod.* **229** 1427
- [44] Wang Y, Qu Q, Gao S, Tang G, Liu K, He S and Huang C 2019 *Carbon N. Y.* **155** 706
- [45] Wei H et al 2020 *J. Alloys Compd.* **820** 153111
- [46] Contescu C I, Adhikari S P, Gallego N C and Evans N D 2018 *J. Carbon Res.* **4** 9
- [47] Kim C, Lee J, Kim J and Yang K 2006 *Korean J. Chem. Eng.* **23** 592
- [48] Taer E, Apriwandi A, Ningsih Y S, Taslim R and Agustino A 2019 *Int. J. Electrochem. Sci.* **14** 2462
- [49] Xiao C, Zhang W, Lin H, Tian Y, Li X, Tian Y and Lu H 2019 *New Carbon Mater.* **34** 341
- [50] Scott K 2016 Electrochemical principles and characterization of bioelectrochemical systems *Microbial Electrochemical and Fuel Cells* (Newcastle upon Tyne: Elsevier) pp 29–66
- [51] Sun Q, Jiang T, Zhao G and Shi J 2019 *Int. J. Electrochem. Sci.* **14** 1
- [52] Men B, Guo P, Sun Y, Tang Y, Chen Y, Pan J and Wan P 2019 *J. Mater. Sci.* **54** 2446
- [53] Subramanian V, Luo C, Stephan A M, Nahm K S, Thomas S and Wei B 2007 *J. Phys. Chem. C* **111** 7527
- [54] Yang S, Wang S, Liu X and Li L 2019 *Carbon N. Y.* **147** 540
- [55] Song G G, Yang J, Liu K X, Qin Z and Zheng X C 2021 *Diam. Relat. Mater.* **111** 108162
- [56] Yang V, Senthil R A, Pan J, Khan A, Osman S, Wang L, Jiang W and Sun Y 2019 *J. Electroanal. Chem.* **855** 113616
- [57] Kumar T R, Senthil R A, Pan Z, Pan J and Sun Y 2020 *J. Energy Storage* **32** 101903
- [58] Duan B, Gao X, Yao X, Fang Y, Huang L, Zhou J and Zhang L 2016 *Nano Energy* **27** 482

## LAMPIRAN 2

### Proses Pembuatan Elektroda Karbon



Keterangan: (a) Rumput gajah sebagai bahan asal pembuatan elektroda superkapasitor, (b) Serbuk pra-karbon dari rumput gajah, (c) Aktivasi kimia, (d) Pencetakan pelet, (e) Proses karbonisasi dan aktivasi fisika, (f) Pelet hasil karbonisasi dan aktivasi fisika, (g) Susunan sel superkapasitor, dan (h) Pengujian CV

### LAMPIRAN 3

#### Data Densitas Elektroda Karbon

##### 1. Data Pengukuran Densitas Sampel RG0.3 Sebelum Karbonisasi-Aktivasi

Kode sampel	Massa (g)	Diameter (cm)	Tebal (cm)	Jari-jari (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )
11	0.62	1.917	0.235	0.959	0.677	0.916
12	0.58	1.916	0.233	0.958	0.673	0.862
13	0.58	1.92	0.253	0.96	0.733	0.791
14	0.62	1.918	0.237	0.959	0.684	0.907
15	0.62	1.919	0.24	0.959	0.693	0.895
16	0.58	1.914	0.259	0.957	0.744	0.78
17	0.59	1.918	0.231	0.959	0.668	0.883
18	0.61	1.903	0.239	0.951	0.68	0.897
19	0.62	1.905	0.235	0.953	0.669	0.927
20	0.58	1.911	0.237	0.956	0.678	0.855
<b>Rata-rata</b>	<b>0.6</b>	<b>1.914</b>	<b>0.24</b>	<b>0.957</b>	<b>0.69</b>	<b>0.871</b>

##### 2. Data Pengukuran Densitas Sampel RG0.3 Setelah Karbonisasi-Aktivasi

Kode sampel	Massa (g)	Diameter (cm)	Tebal (cm)	Jari-jari (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )
11	0.14	1.323	0.126	0.661	0.173	0.811
12	0.12	1.338	0.153	0.669	0.215	0.557
13	0.14	1.327	0.136	0.663	0.188	0.745
14	0.14	1.326	0.16	0.663	0.22	0.635
15	0.12	1.281	0.154	0.64	0.199	0.604
16	0.11	1.278	0.123	0.639	0.157	0.699
17	0.09	1.216	0.116	0.608	0.135	0.667
18	0.07	1.142	0.101	0.571	0.104	0.674
<b>Rata-rata</b>	<b>0.116</b>	<b>1.279</b>	<b>0.134</b>	<b>0.639</b>	<b>0.172</b>	<b>0.674</b>

##### 3. Data Pengukuran Densitas Sampel RG0.5 Sebelum Karbonisasi-Aktivasi

Kode sampel	Massa (g)	Diameter (cm)	Tebal (cm)	Jari-jari (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )
11	0.69	1.933	0.262	0.9665	0.768	0.899
12	0.7	1.933	0.226	0.9665	0.663	1.056
13	0.72	1.928	0.224	0.964	0.655	1.1
14	0.71	1.93333	0.259	0.9667	0.76	0.934
15	0.65	1.92433	0.235	0.9622	0.682	0.953
16	0.65	1.92367	0.264	0.9618	0.766	0.849
17	0.66	1.928	0.188	0.964	0.548	1.205
18	0.68	1.92567	0.235	0.9628	0.685	0.993
19	0.66	1.924	0.219	0.962	0.637	1.036
20	0.65	1.916	0.192	0.958	0.553	1.175
<b>Rata-rata</b>	<b>0.677</b>	<b>1.9269</b>	<b>0.23</b>	<b>0.9635</b>	<b>0.671</b>	<b>1.02</b>

#### 4. Data Pengukuran Densitas Sampel RG0.5 Sebelum Karbonisasi-Aktivasi

Kode sampel	Massa (g)	Diameter (cm)	Tebal (cm)	Jari-jari (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )
11	0.1	1.219	0.138	0.6095	0.161	0.621
12	0.19	1.24967	0.154	0.6248	0.189	1.006
13	0.15	1.25233	0.153	0.6262	0.189	0.795
14	0.12	1.22767	0.145	0.6138	0.171	0.701
15	0.12	1.13867	0.121	0.5693	0.123	0.972
16	0.08	1.06667	0.13	0.5333	0.116	0.691
<b>Rata-rata</b>	<b>0.1267</b>	<b>1.19233</b>	<b>0.14</b>	<b>0.5962</b>	<b>0.156</b>	<b>0.798</b>

#### 5. Data Pengukuran Densitas Sampel RG0.7 Sebelum Karbonisasi-Aktivasi

Kode sampel	Massa (g)	Diameter (cm)	Tebal (cm)	Jari-jari (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )
1	0.63	1.943	0.212	0.972	0.629	1.001
2	0.61	1.935	0.218	0.968	0.641	0.952
3	0.55	1.929	0.216	0.965	0.63	0.873
4	0.52	1.935	0.185	0.967	0.545	0.955
5	0.54	1.934	0.174	0.967	0.511	1.057
6	0.52	1.939	0.183	0.969	0.539	0.965
7	0.52	1.947	0.19	0.974	0.566	0.918
8	0.65	1.942	0.236	0.971	0.697	0.932
9	0.53	1.936	0.184	0.968	0.54	0.981
10	0.51	1.94	0.175	0.97	0.517	0.986
<b>Rata-rata</b>	<b>0.558</b>	<b>1.938</b>	<b>0.197</b>	<b>0.969</b>	<b>0.582</b>	<b>0.962</b>

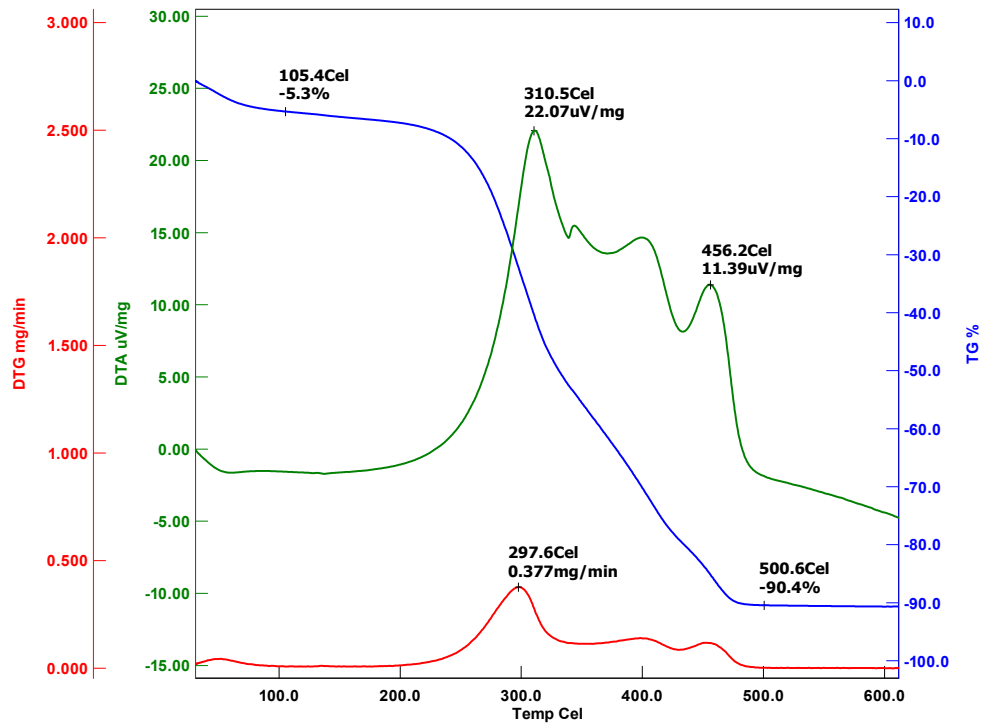
#### 6. Data Pengukuran Densitas Sampel RG0.7 Setelah Karbonisasi-Aktivasi

Kode sampel	Massa (g)	Diameter (cm)	Tebal (cm)	Jari-jari (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )
3	0.06	1.166	0.093	0.583	0.099	0.604
4	0.04	1.065	0.092	0.532	0.082	0.489
5	0.04	0.908	0.117	0.454	0.076	0.527
6	0.03	0.93	0.093	0.465	0.063	0.474
7	0.03	0.814	0.107	0.407	0.056	0.539
8	0.04	0.992	0.134	0.496	0.103	0.387
9	0.03	0.935	0.074	0.467	0.051	0.594
10	0	0.961	0.119	0.481	0.086	0
<b>Rata-rata</b>	<b>0.03375</b>	<b>0.971</b>	<b>0.104</b>	<b>0.486</b>	<b>0.077</b>	<b>0.452</b>

## LAMPIRAN 4

### Data Pengujian Sifat Termal

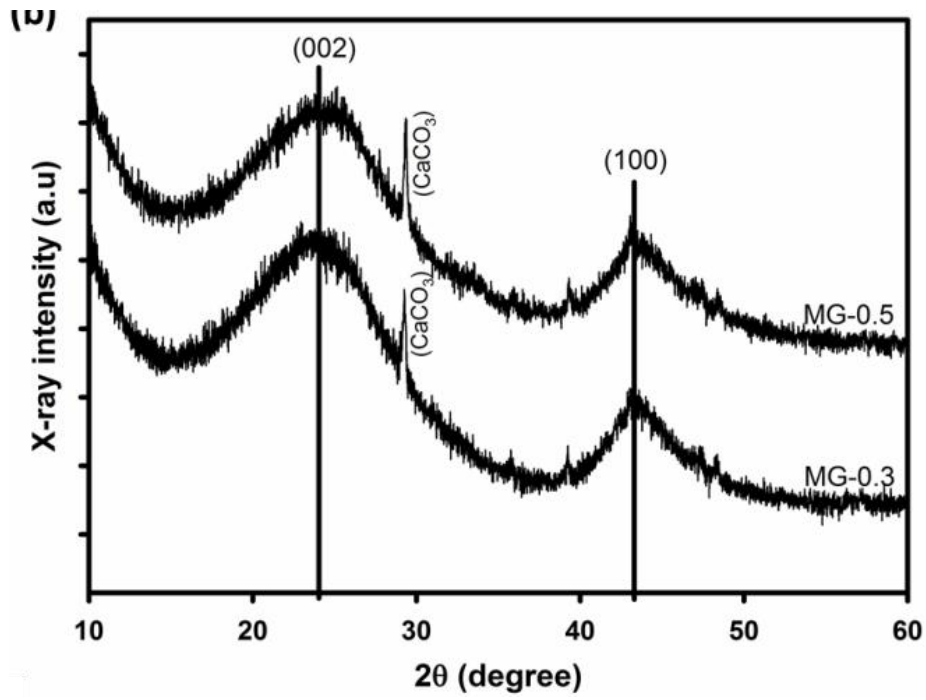
#### Data Hasil Pengujian Sifat Termal menggunakan Thermogravimetri Analisis



## LAMPIRAN 5

### Data Pengujian Sifat Kristalinitas

#### Data Hasil Pengujian Sifat Kristalinitas



## LAMPIRAN 6

### Data Pengujian BET

#### Data Hasil Pengujian BET RG-0.3

#### LABORATORIUM TEKNIK KIMIA

INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG  
Quantachrome TouchWin v1.2



**Report date:** Sel Jan 28 2020 **Operator:** operator  
**Filename:** 44 Pts Full isotherm - St4\_20200120\_152706.qcuPhysIso

#### Analysis Information

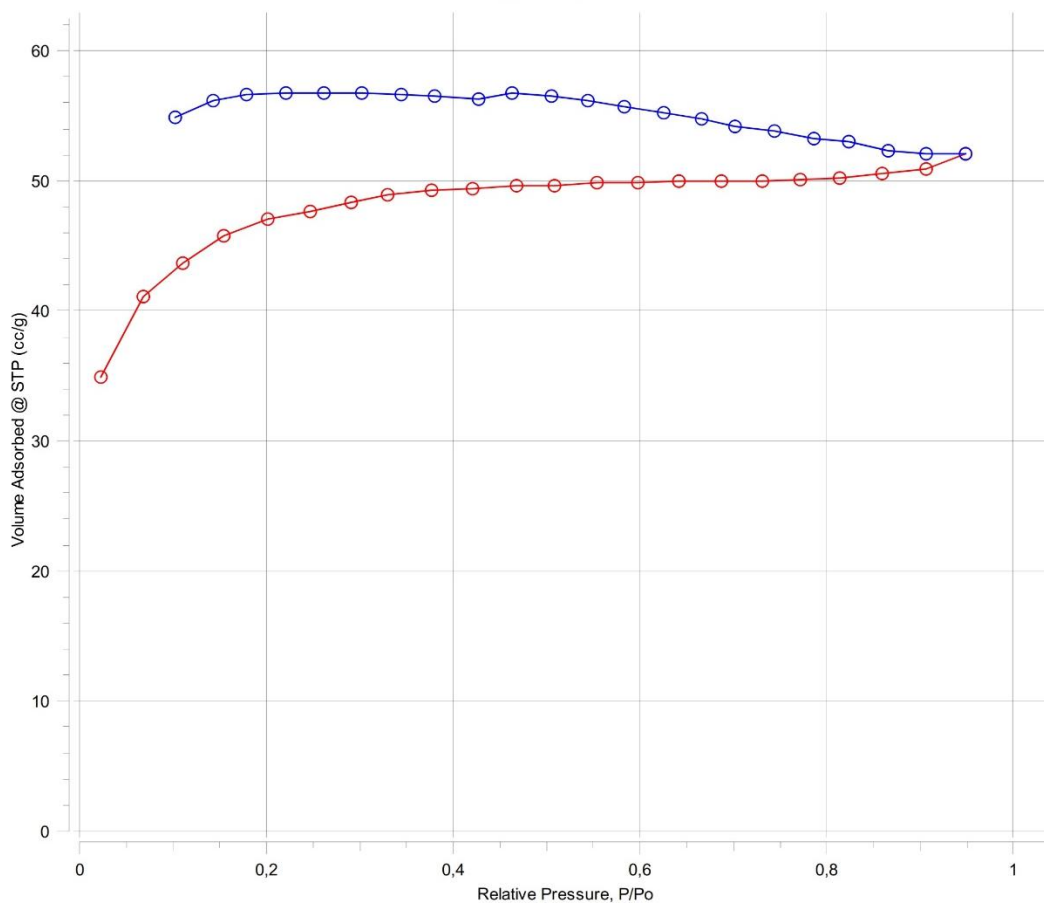
<b>Sample ID</b>	R6-0,3	<b>Weight</b>	0,0467 <sub>g</sub>
<b>Description</b>			
<b>Analysis Data ID</b>	{061084e1-2fcc-488b-b93e-e8aa4fbfe8af}		
<b>Operator</b>	operator	<b>Date</b>	2020.01.20
<b>Instrument</b>	St 4 on NOVA touch 4LX [s/n:17018063001]		
<b>Comments</b>			
<b>Ambient Temp.</b>	40,12 <sup>o</sup> C	<b>Void Volume Mode</b>	NOVA mode
<b>Cell Type</b>	9mm with rod	<b>Thermal Delay</b>	600 <sub>sec</sub>
<b>Adsorbate Name</b>	Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28,013 <sub>g/mol</sub>
<b>Non-ideality</b>	6,58e-005 <sub>1/torr</sub>	<b>Bath Temperature</b>	77,35 <sub>K</sub>
<b>Degas information Type</b>	Vacuum Degassing		
<b>Operator</b>			
<b>Description</b>			

#### Data Reduction Parameters

**Thermal Transpiration** no

#### Graph - Isotherm Isotherm

○ Ads ○ Des



# Data Hasil Pengujian BET RG-0.5

## LABORATORIUM TEKNIK KIMIA

INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG  
Quantachrome TouchWin v1.2



**Report date:** Sel Jan 28 2020 **Operator:** operator  
**Filename:** 44 Pts Full isotherm - St3\_20200120\_152706.qcuPhysIso

### Analysis Information

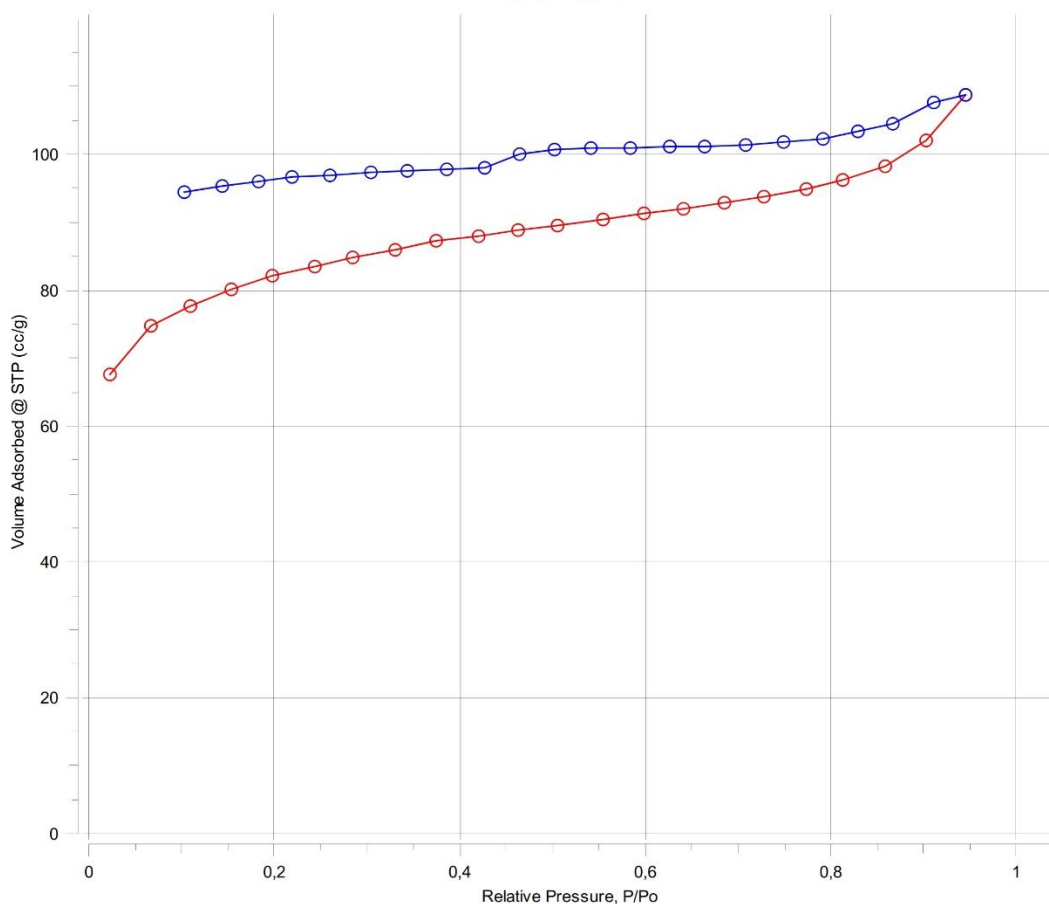
<b>Sample ID</b>	R6-0,5	<b>Weight</b>	0,0576 <sub>g</sub>
<b>Description</b>			
<b>Analysis Data ID</b>	{3b95189d-c0ac-47d0-847a-35036940d2d6}		
<b>Operator</b>	operator	<b>Date</b>	2020.01.20
<b>Instrument</b>	St 3 on NOVA touch 4LX [s/n:17018063001]		
<b>Comments</b>			
<b>Ambient Temp.</b>	39,4849 <sup>°C</sup>	<b>Void Volume Mode</b>	NOVA mode
<b>Cell Type</b>	9mm with rod	<b>Thermal Delay</b>	600 <sub>sec</sub>
<b>Adsorbate Name</b>	Nitrogen	<b>Molecular Weight</b>	28,013 <sub>g/mol</sub>
<b>Non-ideality</b>	6,58e-005 <sub>1/torr</sub>	<b>Bath Temperature</b>	77,35 <sub>K</sub>
<b>Degas information Type</b>	Vacuum Degassing		
<b>Operator Description</b>			
<b>Duration</b>	225,917 <sub>min</sub>		
<b>Firmware</b>	1.04		
<b>Cell ID</b>	32		
<b>Po Mode</b>	Continuous		
<b>Cross Section Area</b>	16,2 <sub>Å²/mol</sub>		

### Data Reduction Parameters

**Thermal Transpiration** no

### Graph - Isotherm Isotherm

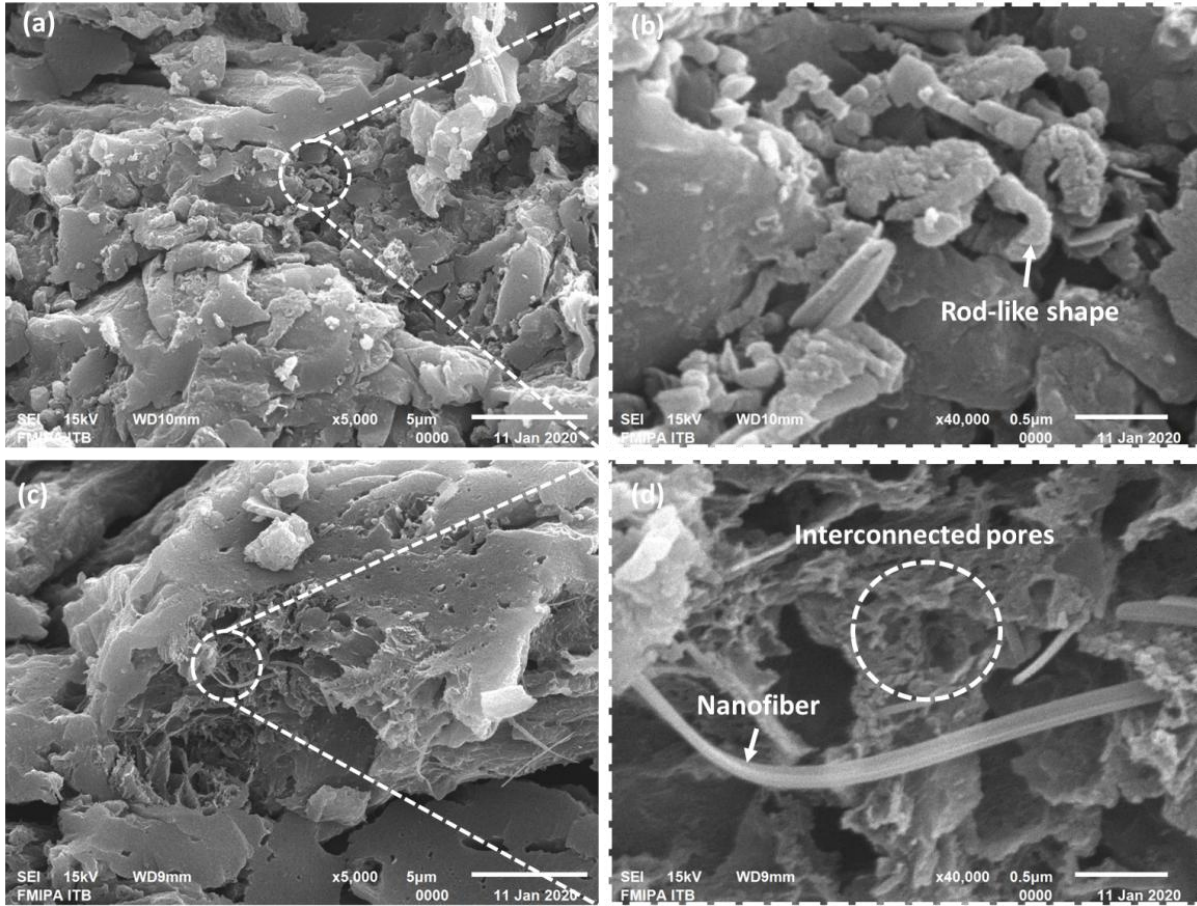
○ Ads ○ Des





LAMPIRAN 7  
Data Pengujian SEM

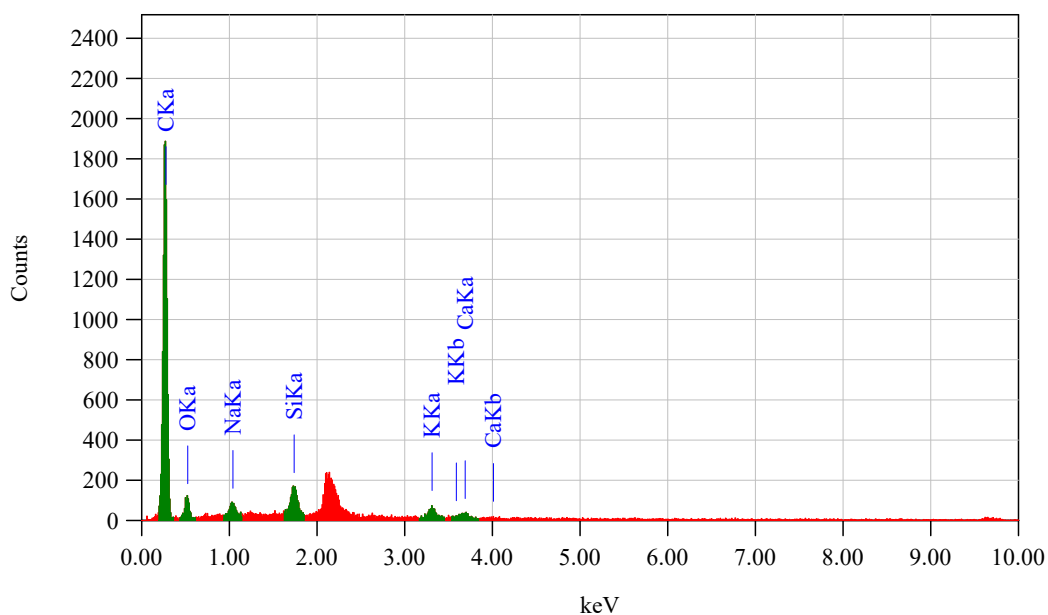
Data Hasil Pengujian SEM



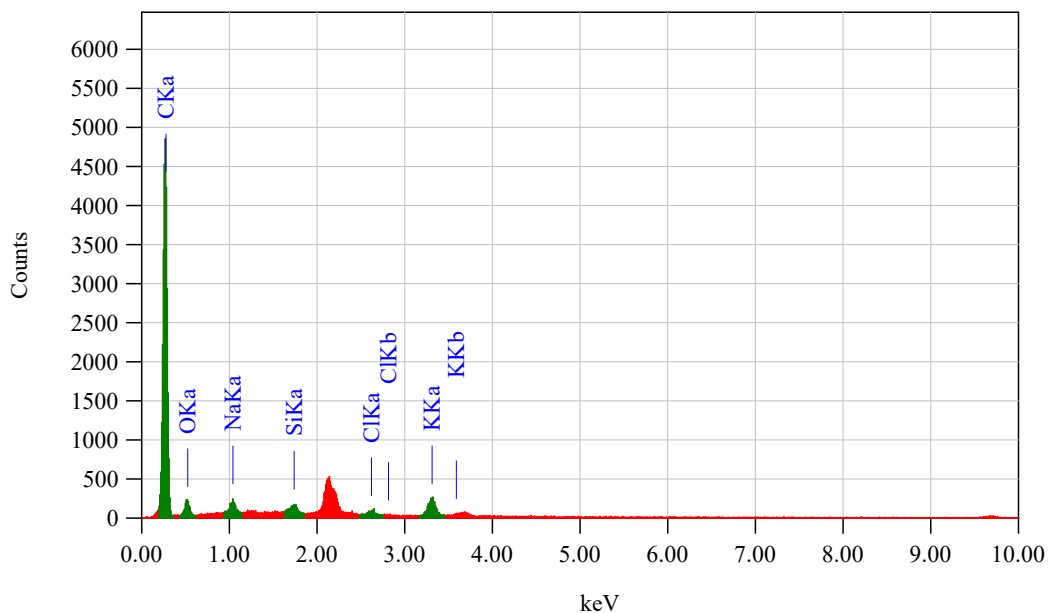
## LAMPIRAN 8

### Data Pengujian EDS

Data Hasil Pengujian EDS sampel RG-0,3



Data Hasil Pengujian EDS sampel RG-0,5



**LAMPIRAN 9**  
**Focus Group Discussion (FGD)**









