

Aplikasi *Porous Activated Carbon* dari Limbah Botol Plastik sebagai Material Elektroda pada *Electric Double Layer Capacitors* dengan *Gel Polymer Electrolyte*

Application of Porous Activated Carbon from Plastic Bottle Waste as Electrode Material in Electric Double Layer Capacitors with Gel Polymer Electrolyte

Fhebbby Tri Juliantie¹, Grace Millenia², Mei Citra Limbong³, Memik Dian Pusfitasari^{4*}

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Kimia, Jurusan Teknologi Industri dan Proses

Institut Teknologi Kalimantan Balikpapan

Jl. Soekarno-Hatta Km. 15 Balikpapan Utara

*email: memik.pusfitasari@lecturer.itk.ac.id

ABSTRAK

DOI;

10.30595/jrst.v6i1.11966

Histori Artikel:

Diajukan:

07/10/2021

Diterima:

01/11/2022

Diterbitkan:

11/11/20xx

Botol plastik sekali pakai menduduki urutan kedua dari tipe plastik di dunia termasuk di Indonesia sebagai plastik yang paling banyak digunakan. Hal ini menghadirkan tantangan yang besar dalam hal pengolahan limbahnya. Di sisi lain, karbon aktif merupakan salah satu material yang dapat digunakan sebagai material elektroda dari superkapasitor yang merupakan salah satu media penyimpanan energi listrik yang tersusun atas elektroda dan elektrolit. Penelitian ini digagas untuk mengembangkan karbon aktif yang dihasilkan dari limbah botol plastik sekali pakai yang selanjutnya diaplikasikan sebagai elektroda superkapasitor. Terdapat 2 tahap proses yaitu karbonisasi pada suhu 500°C, 600°C, dan 700°C dan aktivasi. Adapun aktivasi dilakukan dalam 2 tahap secara kimia (menggunakan ZnCl₂) dan fisika. Selain itu, penelitian ini menggunakan PVA-K₂CO₃ dalam bentuk gel sebagai elektrolit superkapasitor. Berdasarkan karakterisasi, material yang dihasilkan merupakan 100% karbon dan telah berhasil teraktivasi. Karbon aktif dari PET dihasilkan merupakan karbon aktif tipe mikropori dengan ukuran volume rata-rata karbon aktif dengan *trend* kenaikan seiring dengan kenaikan suhu karbonisasi yang digunakan berturut-turut sebesar 0,0362643 cm³/g, 0,0416015 cm³/g dan 0,0450067 cm³/g. Karbon aktif yang dihasilkan telah berhasil diimplementasikan sebagai elektroda pada *Electric Double Layer Capacitors (EDLCs)* dimana kenaikan suhu karbonisasi yang digunakan berdampak pada turunnya jumlah tegangan yang dapat disimpan oleh EDLCs dengan hasil berturut-turut sebesar 1,227 V, 1,197 V, 1,116 V dengan rentang waktu pengisian daya selama 1 jam.

Kata Kunci: Botol Plastik Sekali Pakai, Karbon Aktif, EDLC

ABSTRACT

Single-use plastic bottles rank second out of the type of plastic in the world including in Indonesia as the most widely used plastic. This presents a huge challenge in terms of its waste treatment. On the other hand, activated carbon is one of the materials that can be used as an electrode material from a supercapacitor which is one of the electrical energy storage media composed of electrodes and electrolytes. This research was initiated to develop activated carbon produced from single-use plastic bottle waste which is then applied as a supercapacitor electrode. There are two stages of the process: carbonization at 500°C, 600°C, and 700°C and

activation. Activation is carried out in two stages chemically (using $ZnCl_2$) and physics. In addition, the study used PVA- K_2CO_3 in gel form as a supercapacitor electrolyte. Based on characterization, the resulting material is 100% carbon and has been successfully activated. Activated carbon from PET is produced is a micropori type active carbon with an average volume size of activated carbon with an increase in the trend along with the increase in carbonization temperature used consecutively by 0.0362643 cm^3/g , 0.0416015 cm^3/g and 0.0450067 cm^3/g . The resulting activated carbon has been successfully implemented as electrodes on Electric Double Layer Capacitors (EDLCs) in the A rise in carbonization temperature used has an impact on the decrease in the amount of voltage that can be stored by EDLCs with consecutive results of 1,227 V, 1,197 V, 1.116 V with a charging time span of 1 hour.

Keywords: Single-use Plastic Bottle, Activated Carbon, EDLC

1. PENDAHULUAN

Plastik banyak digunakan dalam berbagai industri, bisnis maupun kehidupan masyarakat. Hal ini karena beberapa keunggulan seperti biayanya yang murah, memiliki kekuatan dan daya tahan yang tinggi, ketahanan terhadap korosi, dan bobotnya yang ringan. Namun setelah digunakan, plastik justru menjadi beban bagi lingkungan karena tingkat pemakaiannya yang sangat tinggi dan belum ada teknologi yang tepat untuk menanganinya serta membutuhkan waktu beberapa tahun untuk dapat terdegradasi secara alami. Indonesia merupakan salah satu dari 10 negara yang mengirimkan data terbanyak dengan merek 3 teratas yang menjadi pencemar yaitu Danone (1052 *pieces*), Wings Food (552 *pieces*), dan Mayora Indah (492 *pieces*) (Gordon et al., 2020). Oleh karena itu, perlu dilakukannya upaya untuk mendaur ulang atau memanfaatkan limbah plastik yang selama ini dihasilkan.

Di sisi lain, penelitian dan pengembangan sumber energi terbarukan dan perangkat penyimpanan energi berkelanjutan sangat diupayakan dewasa ini karena pesatnya tumbuhan penduduk, berkurangnya ketersediaan bahan bakar fosil, dan semakin meningkatnya produksi limbah industri hasil penggunaan bahan bakar fosil yang berdampak pada pencemaran lingkungan. Hal ini dilatar belakangi oleh kebutuhan energi itu sendiri dimana beberapa bentuk energi baru terbarukan dapat diproduksi tetapi energi tersebut perlu disimpan sehingga dapat digunakan nanti (Conder et al., 2020). Pengembangan perangkat penyimpanan dengan energi tinggi, daya tinggi, dan siklus hidup yang panjang telah mendapatkan perhatian yang cukup besar untuk komunitas penelitian. Supercapacitor telah diakui sebagai salah satu aplikasi dalam perangkat penyimpanan energi karena sifatnya yang unggul terutama pada pengiriman kepadatan daya tinggi, proses pengisian/pengosongannya yang cepat, stabilitas siklus yang lebih baik, biaya perawatan yang rendah, dan umur pemakaiannya yang panjang (>100.000 siklus), (Utetiwabo et al., 2020).

Supercapacitor adalah suatu media penyimpanan yang memiliki karakteristik berbeda dengan baterai. Supercapacitor memiliki kerapatan daya yang tinggi, durasi pengisian yang pendek dengan usia penggunaan yang panjang dan resiko termal yang jauh lebih rendah, (Lystianingrum, 2019). Tidak seperti kapasitor biasa yang menggunakan dielektrik padat, supercapacitor menggunakan kapasitansi elektrostatik lapis-ganda (*electrostatic double-layer capacitors/EDLCs*). Supercapacitor tersusun atas beberapa komponen utama yaitu elektroda, elektrolit, dan komponen pemisah. Elektroda pada EDLC yang digunakan adalah berbasis karbon. Studi telah menunjukkan bahwa sifat umum dari kinerja tinggi bahan karbon untuk aplikasi EDLC, diantaranya: luas permukaan tinggi seperti lebih dari 1500 m^2/g , fraksi pori spesifik tinggi, konduktivitas tinggi seperti lebih besar dari 1,0 S/cm, dan kemurnian tinggi (kandungan karbon 99,9%).

Material karbon ini dapat dikonversi menjadi *activated carbon* yang berguna sebagai adsorben (Yuliusman et al., 2016), ataupun material elektroda (Ahmed et al., 2018). Karbon aktif adalah salah satu bahan yang paling banyak digunakan saat ini di industri. Pada pembuatan supercapacitor, 50% biaya supercapacitor didominasi oleh total harga bahan karbon. Dalam upaya mengatasi permasalahan tersebut, telah dikembangkan alternatif untuk menghasilkan karbon dengan pertimbangan harga yang rendah. Berdasarkan penelitian terdahulu, terdapat beberapa bahan yang dijadikan sebagai elektroda karbon yang umumnya berasal dari biomassa seperti bambu, serbuk kayu pohon karet, serat pisang, jerami padi, dan sebagainya. Selain itu, ditemukan juga penelitian terdahulu yang menggunakan plastik sebagai bahan elektroda karbon pada EDLC. Jika dilihat dari sisi penanganan permasalahan limbah, material plastik lebih utama untuk dikembangkan menjadi bahan karbon pada elektroda EDLC dikarenakan material biomassa yang merupakan bahan organik akan lebih mudah terurai dibandingkan plastik. Dalam upaya mengatasi

permasalahan tersebut, telah dikembangkan alternatif untuk menggantikan karbon aktif yang berasal dari biomassa dengan pembuatan karbon aktif berbiaya rendah dengan memanfaatkan limbah plastik. Berdasarkan penelitian terdahulu, limbah plastik dianggap sebagai alternatif prekursor karbon dari tempurung kelapa untuk mempersiapkan elektroda karbon pada superkapasitor. Hal itu karena kandungan karbon pada plastik yang tinggi yaitu sekitar 63% - 86% (Utetiwabo et al., 2020). Selain itu, biayanya yang rendah dan kelimpahannya di lingkungan menjadi alasan perlu dikembangkannya penelitian di bidang ini.

Adapun penelitian terdahulu dari aplikasi pengolahan limbah plastik menjadi karbon aktif dapat dilihat dalam Tabel 1.

Dimana keterbaruan dari penelitian yang dilakukan ialah pembuatan superkapasitor khususnya EDLC menggunakan *Gel Polymer Electrolyte (GPE)* dengan menggunakan aktivator ZnCl₂ dan melakukan variasi pada suhu karbonisasi pada pembuatan karbon aktif dari limbah botol plastik sekali pakai.

2. METODE PENELITIAN

Secara umum, penelitian Aplikasi *Porous Activated Carbon* dari Limbah Botol Plastik sebagai Material Elektroda pada *Electric Double Layer Capacitors* dengan *Gel Polymer Electrolyte* dibagi menjadi 5 tahap yaitu (1) Persiapan alat dan bahan, (2) Pembuatan karbon aktif dari limbah botol plastik (PET-AC), (3) Pembuatan *Gel Polymer Electrolyte (GPE)* dari PVA-K₂CO₃, (4) Pembuatan EDLC, dan (5) Karakterisasi EDLC

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

Judul (Peneliti, Tahun)	Produk yang Dihasilkan	Hasil Penelitian
<i>Poly(ethylene terephthalate)-Based Carbon Based Electrode Material in Supercapacitors</i> (Domingo-García, Fernández, Almazán-Almazána, & López-Garzóna, 2010)	Superkapasitor dengan elektroda dari PET yang dikonversi menjadi <i>activated carbon</i> dengan <i>activated KOH</i> dan 2 variabel elektrolit yaitu 2 M H ₂ SO ₄ dan 1 M (C ₂ H ₅) ₄ NBF ₄ / <i>acetone nitril</i> .	Karbon aktif turunan PET untuk karbon yang sangat berpori dan menampilkan kapasitas tertentu pada kerapatan arus rendah antara 106 dan 197 F/g dalam 2 M H ₂ SO ₄ dan dari 69 - 98 F/g dalam 1 M (C ₂ H ₅) ₄ NBF ₄ / <i>acetone nitrile</i> .

<i>Porous Carbon from Plastic Waste</i> (Bazargan, Hui, & McKay, 2013)	<i>Porous carbon</i> dari berbagai jenis limbah plastik.	AC dapat memiliki luas permukaan BET yang tinggi, volume pori, dan kapasitas adsorpsi yang baik. Namun, hasil karbon agak rendah (biasanya sekitar 10%).
<i>Flexible Polyethylene Terephthalate (PET) Electrodes Based on Single-Walled Carbon Nanotubes</i> (SWCNTs) for Supercapacitor Application (Du, Kim, & Jeong, 2016)	Elektroda dari PET yang dikonversi menjadi <i>Flexible Single-Walled Carbon Nanotubes</i> digunakan untuk <i>supercapacitors</i> .	Nilai kapasitansi spesifik 67 F/g menurun menjadi 63 F/g (94% retensi) setelah 1000 GCD.

2.1 Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini, digunakan beberapa bahan yang semuanya merupakan bahan pro analisis (PA) diantaranya: HCl 32%, ZnCl₂ (Merck), K₂CO₃ (Merck), Aquades (Waterone), Polivinil Alkohol (Sigma Aldrich), limbah botol plastik dimana menggunakan 1 merek (*Le Mineral*) dengan beberapa alat pengujian yang digunakan ialah *furnace muffle (Thermolyne)*, Oven (*Memmert*), *Surface Area Analyzer (Quantachrome Touch Win)*, SEM (*Thermo Scientific-Phenom Prox*), EDX, dan XRD (*Brucker-D8 Advance*).

2.2. Karbon Aktif dari Limbah Botol Plastik (PET-AC)

PET dicuci dan dikeringkan dengan suhu ruang. Lalu, dipotong hingga menjadi ukuran 1-3 mm. Setelah itu, potongan PET dikarbonisasi dengan *muffle furnace* dengan variasi suhu yaitu 500°C, 600°C, dan 700°C dengan waktu 2 jam. Setelah proses karbonisasi, diperoleh karbon yang selanjutnya didinginkan pada suhu kamar yaitu sekitar 25-30°C di dalam desikator. Karbonisasi dilakukan untuk menghilangkan materi yang mudah menguap dan meningkatkan kandungan karbon sebelum aktivasi. Dalam aktivasi karbon, dilakukan 2 metode yaitu (1)

secara kimia dan (2) secara fisika. Aktivasi kimia (dengan $ZnCl_2$) yaitu karbon diimpergnasi dengan aktivator $ZnCl_2$ dengan perbandingan karbon: $ZnCl_2$ ialah 1:2 digunakan 2 gram karbon : 4 gram $ZnCl_2$ yang dilarutkan pada 30 mL. Impergnasi dilakukan selama 24 jam agar menjamin keberlangsungan proses difusi ke bagian dalam pori karbon. Selanjutnya, larutan pada aktivasi kimia disaring, serta residunya dikeringkan pada suhu ruang. Lalu, karbon yang telah diaktivasi kimia dilakukan aktivasi lanjutan secara fisika yaitu pirolis dengan memanaskan karbon pada *muffle furnace* pada suhu $700^\circ C$ untuk memperluas permukaan pori karbon aktif. Karbon yang teraktivasi secara fisik harus dicuci. Dimana, dilakukan pencucian karbon yang telah aktif dengan HCl 1 N setelah itu dilakukan juga pencucian lanjutan dengan air hangat hingga pH menjadi netral. Terakhir, karbon aktif yang telah diperoleh, dikeringkan dengan oven pada suhu $100^\circ C$ selama 25 menit. Setelah itu, karbon aktif disimpan di dalam desikator.

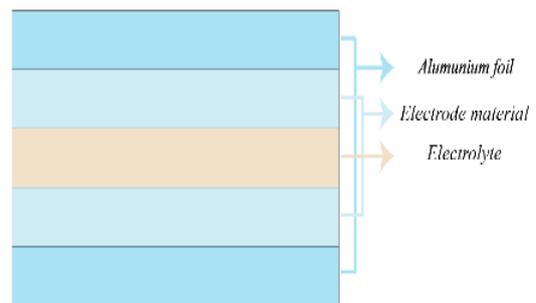
Terdapat 3 pengujian terhadap karbon aktif yang telah dibuat yaitu dengan BET untuk mengetahui luas permukaan spesifik dan parameter struktur pori, SEM untuk melihat struktur morfologi karbon aktif, XRF untuk mengetahui komposisi unsur dari material, dan XRD untuk melihat sifat kristal dan fase dari sampel.

2.3. Gel Polymer Electrolyte

Gel Polymer Electrolyte dari K_2CO_3 dicampur PVA (PVA- K_2CO_3) dibuat dengan menambahkan PVA seberat 0.7 gram dan 0.3 gram K_2CO_3 yang dilarutkan ke dalam aquades sebanyak 20 mL. Larutan tersebut diaduk serta dipanaskan hingga suhu larutan menjadi $80^\circ C$ secara konstan sampai larutan menjadi homogen, bening, dan kental.

2.4. Electric Double Layer Capacitor (EDLC)

Larutan GPE dilapisi dengan metode *spin coating* pada permukaan elektroda PET-AC yang dilapisi pada aluminium foil (pengumpul arus) diikuti dengan pengeringan. Ketiga sistem lapisan ini dirakit seperti pada gambar 1. Cell: AF|AC| PVA- K_2CO_3 |AC|AF Dengan AF adalah aluminium foil.



Gambar 1. Proses Perakitan Sel Superkapasitor dengan Elektroda PET-AC dan *Gel Polymer Electrolyte* dari PVA- K_2CO_3 (Penulis, 2020)

2.5. Karakterisasi EDLC

Karakteristik EDLC diselidiki dengan teknik spektroskopi impedansi elektrokimia (EIS), siklik voltametri (CV), dan pengisian /pengosongan galvanostatis (Suleman et al., 2016).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan hasil dan pembahasan yang terdiri dari aktif yang diproduksi beserta karakterisasi, GPE yang diproduksi, dan EDLC yang dihasilkan beserta karakterisasi.

3.1. Karbon Aktif dari Limbah Botol Plastik (PET-AC)

Sebelum proses aktivasi pada karbon, tahap pertama yang harus dilakukan yaitu membuat karbon dari limbah botol plastik sekali pakai dimana dilakukan dengan variasi suhu karbonisasi dengan waktu 2 jam. Dalam penelitian ini digunakan beberapa varian suhu karbonisasi yang didapatkan dari beberapa jurnal yang telah dikaji dimana menggunakan beberapa varian suhu mulai dari $450^\circ C$ (Wardhana, Siwi H., & Ika R., 2013), 500° hingga $700^\circ C$ (Alwaan & Jaleel, 2020), (Sirasit Meesiri1 et al., 2020). Pemilihan variasi suhu yang digunakan dilakukan berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan dan mempertimbangkan suhu titik leleh dari botol plastik sekali pakai yang berada di kisaran $260-300^\circ C$. Untuk memudahkan penyebutan, penamaan sampel karbon aktif dibuat dengan menyesuaikan variasi karbonisasi yaitu AC-500, AC-600, dan AC-700. Suhu karbonisasi berpengaruh dalam penentuan tingkat kemurnian dari karbon yang dihasilkan oleh material yang digunakan (dalam penelitian ini digunakan limbah botol plastic sekali pakai). Semakin tinggi suhu karbonisasi, maka semakin tinggi kemurnian karbon yang dihasilkan. Serta, semakin tinggi suhu karbonisasi, semakin rendah kandungan bahan volatil yang terdapat dalam karbon yang dihasilkan. Sehingga adanya variasi karbonisasi

ingin menentukan keadaan optimum karbon dalam proses karbonisasi terhadap perubahan faktor yaitu tingkat kemurnian karbon dan kandungan bahan yang mudah menguap pada karbon. Adapun % yield dari karbon yang telah dibuat ditampilkan pada table 2. Dimana semakin tinggi suhu karbonisasi maka %yield akan semakin rendah dengan meningkatnya kemurnian karbon yang dihasilkan,

Tabel 2. % Yield Karbon dari Limbah Botol Plastik dengan Variasi Suhu

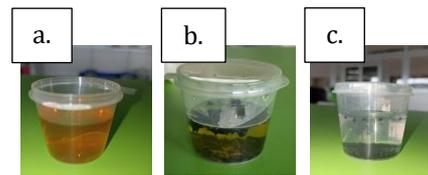
Sampel	Yield (wt%)
AC-500	20,3
AC-600	18,7
AC-700	10,7

Setelah karbon didapatkan, dilakukan aktivasi dengan menggunakan $ZnCl_2$ secara kimia dengan impergnasi selama 24 jam. Impergnasi dilakukan selama 24 jam agar menjamin keberlangsungan proses difusi ke bagian dalam pori karbon (Tumimomor, Maddu, & Pari, 2017). $ZnCl_2$ merupakan salah satu agen yang sering digunakan sebagai aktivator pada material karbon. Akitvator $ZnCl_2$ merupakan agen aktivasi yang sangat baik, hal ini dikarenakan $ZnCl_2$ dapat mengaktifkan karbon dengan suhu yang rendah (Wei, Li, Li, Li, & Chen, 2015). Selain itu, $ZnCl_2$ dapat menghasilkan nilai *yield* yang tinggi, karbon yang dihasilkan memiliki porositas lebih besar (Astuti, Handayani, & Wulandari, 2018), serta dapat menghasilkan luas permukaan yang besar (Sahin, Saka, Ceyhan, & Baytar, 2015). Selanjutnya, residu hasil impergnasi dilakukan aktivasi secara fisika yaitu dengan pemanasan menggunakan *muffle furnace* pada suhu $700^\circ C$ selama 1 jam.

Pengujian pertama dilakukan dengan menggunakan EDX untuk memastikan bahwa komposisi dari sampel yang dibuat sudah menjadi karbon. Hasil dari pengujian EDX menunjukkan bahwa karbon aktif yang disintesis mengandung 100% karbon. Hal ini menunjukkan bahwa pada sampel karbon aktif yang telah dibuat sama sekali tidak mengandung pengotor atau kandungan zat lain.

Karbon yang telah diaktivasi, diuji coba untuk membuktikan keberhasilan aktivasi dengan uji penyerapan iodine. Pada dasarnya karbon aktif juga biasa digunakan sebagai adsorben karena memiliki pori sangat banyak dengan ukuran tertentu, salah satunya adalah zat warna (Sudarmi, 2010). Hasil uji menunjukkan bahwa karbon yang telah diaktivasi telah aktif, hal ini dibuktikan dengan berubahnya air

beriodin pada gambar 2a menjadi jernih seperti ditunjukkan pada gambar 2c.

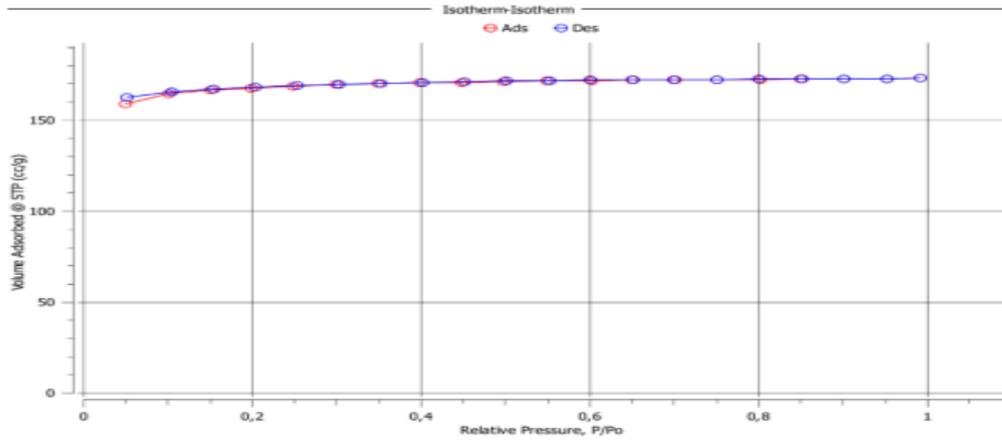


Gambar 2. Uji Penyerapan Iodine (a) Air yang Ditambahkan Iodine, (b) Air yang Ditambahkan Iodine + Karbon, (c) Air yang Ditambahkan Iodine + Karbon Aktif

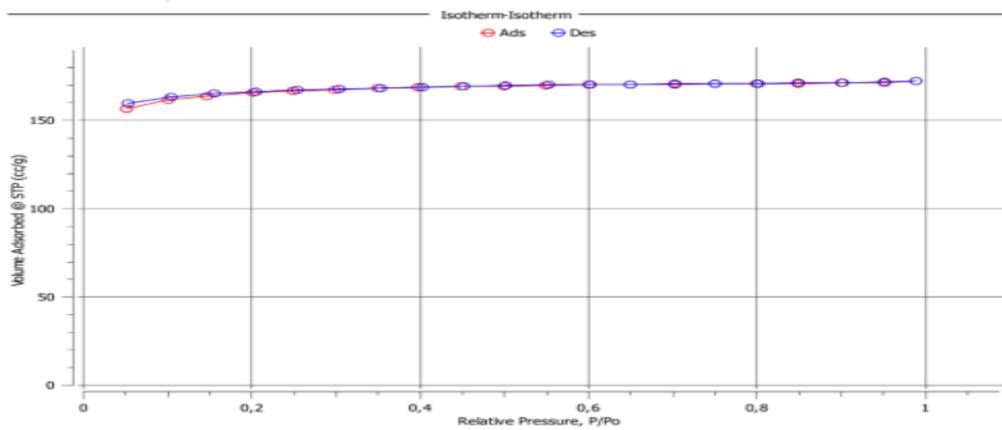
Selanjutnya, dilakukan pengujian luas permukaan spesifik (*SBET*), luas permukaan pori (*Spore*), jari-jari rata-rata pori (*ravg*) dan volume rata-rata pori (*Vpore avg*) dengan menggunakan *Surface Area Analyzer* (SAA) yang menggunakan teori BET. Adapun hasilnya ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian SAA-BET

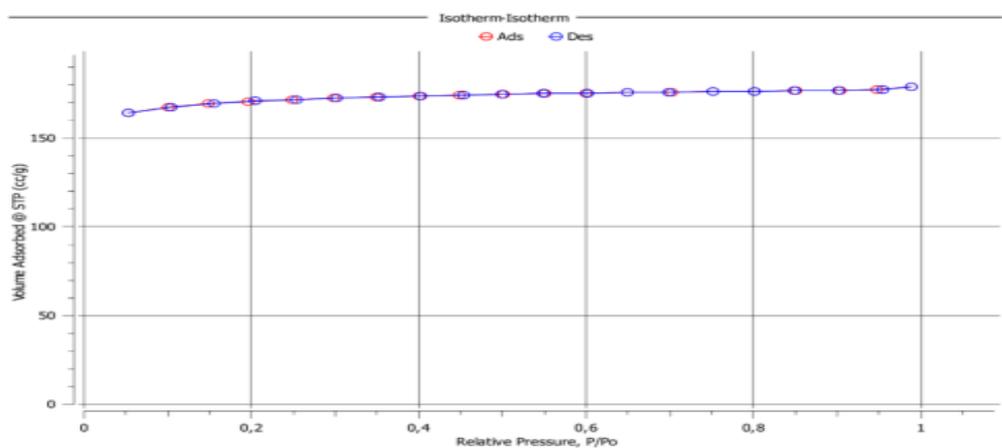
Sampel	S_{BET} (m ² /g)	S_{pore} (m ² /g)	r_{avg} (nm)	$V_{poreavg}$ (cm ³ /g)
AC-500	509,064	73,8068	0,721091	0,0362643
AC-600	503,338	82,6054	0,723964	0,0416015
AC-700	516,424	83,0521	0,723893	0,0450067



Gambar 3. N_2 Adsorption-Desorption Isotherms AC-500



Gambar 4. N_2 Adsorption-Desorption Isotherms AC-600



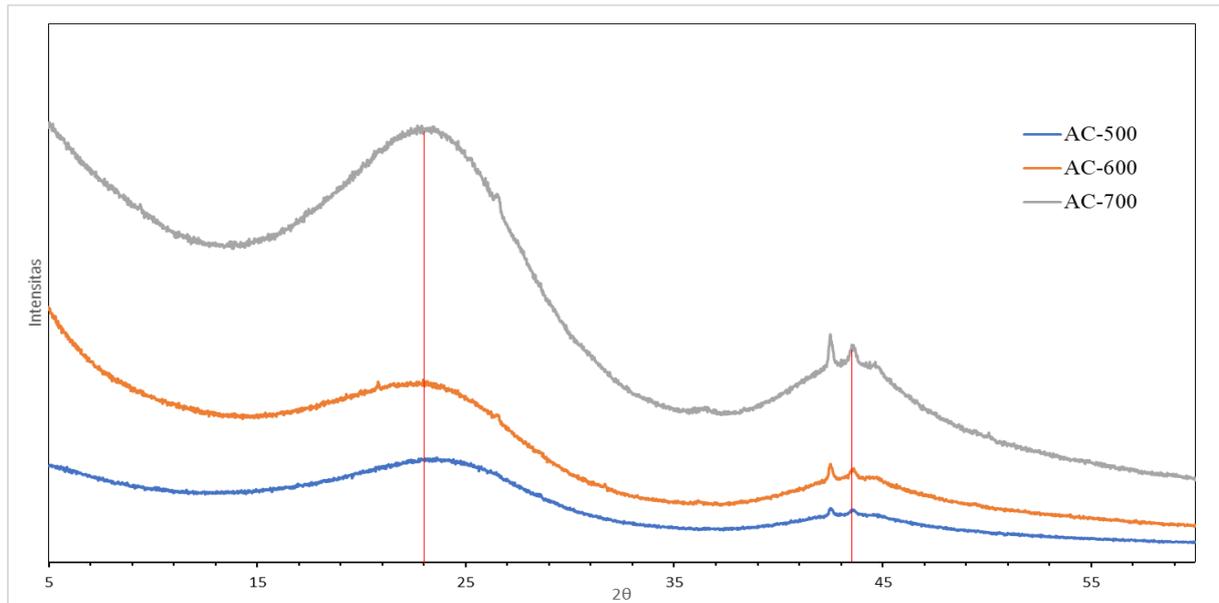
Gambar 5. N_2 Adsorption-Desorption Isotherms AC-700

Berdasarkan tabel 3 tersebut nampak bahwa seluruh data yang dihasilkan kecuali S_{BET} mengalami kenaikan seiring dengan semakin besarnya suhu karbonisasi yang dihasilkan. Karbon dengan suhu karbonisasi 700 °C memiliki luas permukaan aktif paling besar, yaitu 516,424 m²/g. Suhu karbonisasi yang lebih tinggi menghasilkan energi yang lebih tinggi untuk menguapkan unsur lain yang menutupi pori-pori karbon sehingga luas permukaan karbon menjadi lebih besar. Adapun jari-jari pori yang dihasilkan akan mempengaruhi kinerja karbon aktif jika diaplikasikan sebagai elektroda pada EDLC (Fibarzi, 2021). Serta didapatkan kurva adsorpsi isothermis Langmuir dan BET. Dimana kurva isotherm terdapat 6 jenis yang 5 diantaranya diterbitkan oleh Brunauer (1943). Maksud dari isotherm yang dihasilkan merupakan volume N₂ yang diserap (V_a) terhadap tekanan relatif yang diterapkan (P/P_0) (Taer, Buku Ajar Dr. Erman Taer, M.Si., 2018). Dari kurva yang diberikan, ketiganya termasuk kedalam kurva tipe-1 nitrogen isothermal dengan kurva 1 perlahan meningkat secara halus pada tekanan relatif tinggi dan meningkat secara tajam untuk mencapai volume penyerapan yang tinggi pada tekanan relatif rendah. Hal ini menunjukkan bahwa sampel tersebut memiliki banyak mikropori (Shao-yun, Xin-hai, Zhi-xing, Hua-jun, & Wen-jei, 2007). Kurva tipe-1 merupakan jenis *Langmuir Isotherm* dimana menggambarkan adsorpsi satu lapis atau *monolayer*. Jenis ini biasanya diperoleh dari adsorben berpori kecil (mikropori) kurang dari 2 nm dan luas area eksternal yang sangat sedikit. Kurva yang dibentuk sejalan dengan hasil ukuran diameter pori yang didapatkan pada tabel 3 yaitu mikropori. Kurva jenis ini biasanya diperoleh dari adsorben karbon aktif dan *zeolit molecular sieve* (Prasodjo, 2010).

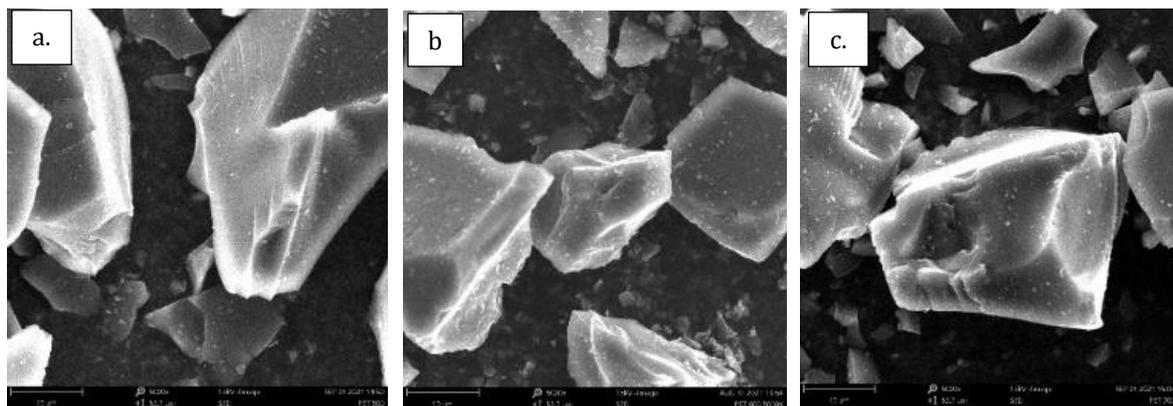
Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui fasa kristalinitas dari karbon aktif. Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa struktur dari ketiga sampel karbon aktif yang terbentuk berstruktur amorf. Dimana ciri dari material amorf yaitu memiliki kurva dengan puncak lebar dan tidak runcing seperti pada material kristal (Kusumaningtyas, 2017). Adanya struktur karbon amorf dapat dihasilkan akibat proses destruksi dari struktur awal grafit selama proses karbonisasi. Struktur karbon yang dihasilkan merupakan struktur *intermediate* antara struktur grafit dan amorf yang disebut struktur turbostatik atau struktur kisi lapisan acak. Struktur turbostatik ini dapat terbentuk karena beberapa hal diantaranya adalah adanya pergeseran acak antara lapisan yang berdekatan, adanya rengangan antar lapisan dan adanya karbon yang tidak teroganisir yang bukan bagian

dari struktur lapisan (Fibarzi, 2021). Pada gambar 6 AC-500 *peak 2θ* terdapat pada 240 dan 43,50 dimana hal ini menunjukkan mayoritas karbon merupakan *disorderd carbon* sesuai pernyataan bahwa pada sudut sekitar ~26° dan ~40° menunjukkan struktur *disordered carbon* (002) dan (100) (Fibarzi, 2021), *peak 2θ* pada gambar 6 AC-600 hampir sama dengan AC-500 namun kristalinitas yang lebih tinggi ditunjukkan pada *peak AC-600* lebih tajam daripada *peak AC-500*, dan pada gambar 6 AC-700 memiliki *peak 2θ* terdapat pada 240 dan 43,50 dengan kristalinitas yang paling tinggi dibandingkan AC-600 dan AC-500.

Selanjutnya, uji SEM dilakukan untuk mengkaji morfologi karbon aktif yang dihasilkan dan hasilnya dapat dilihat pada gambar 7. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa karbon aktif yang dihasilkan berbentuk tidak beraturan dan pori-pori dari karbon aktif dapat terlihat pada permukaan karbon aktif. Adapun pori-pori ini berfungsi dalam memperluas permukaan absorpsi pada karbon aktif yang akan mempengaruhi nilai kapasistansi. Jumlah serta ukuran pori yang dapat dibentuk pada *activated carbon* dipengaruhi oleh beberapa proses pembuatannya, yaitu melalui proses aktivasi baik secara fisika, kimia, ataupun *template* (Habibah, et al., 2014). Pori-pori karbon yang terbuka dipengaruhi oleh aktivator dimana berfungsi untuk dekomposisi struktur karbon selama proses karbonisasi ataupun aktivasi (Fibarzi, 2021).



Gambar 6. Hasil Analisis XRD Karbon Aktif



Gambar 7. Hasil Analisis SEM (a) AC-500, (b) AC-600, (c) AC-700

3.2. Gel Polymer Electrolyte

Dalam penggunaan elektrolit pada superkapasitor, terdapat beberapa jenis elektrolit diantaranya elektrolit gel dan elektrolit cair. Elektrolit gel menjadi opsi yang baik karena elektrolit cair rentan terhadap kebocoran yang terdapat pada kemasan superkapasitor *cell*. Sehingga elektrolit gel dapat menjadi solusi untuk mengurangi risiko kebocoran (Taer & Rika, Studi Interaksi Elektrolit Cair dan Gel dalam Elektroda Karbon Aktif Mesopori pada Sebuah Sel Superkapasitor, 2016). Dalam pembuatan GPE digunakan PVA dan K₂CO₃. PVA berfungsi sebagai polimer selagi K₂CO₃ digunakan sebagai *conducting salt* (Abdulkadir, Dennis, Fadhlullah, Nasef, & Usman, 2020). Dalam penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa percobaan untuk mendapatkan komposisi yang tepat,

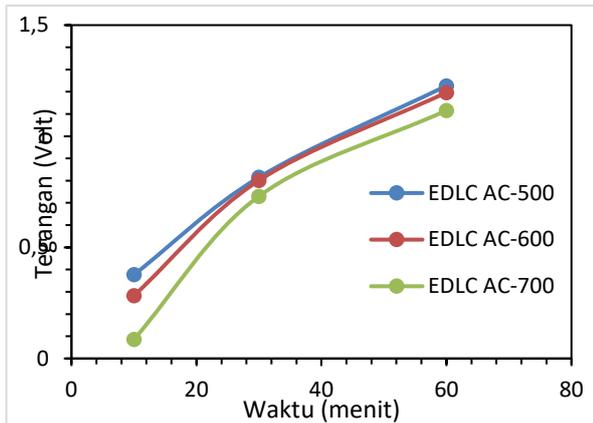
dimana sesuai oleh jurnal yang dikaji digunakan PVA seberat 0.7 gram dan 0.3 gram K₂CO₃ yang dilarutkan kedalam aquades sebanyak 20 mL.



Gambar 8. Gel Polymer Electrolyte yang Telah Dibuat

3.3. Electric Double Layer Capacitor (EDLC)

Dalam pembuatan EDLC, telah dilakukan hingga dihasilkan 3 prototipe dengan variasi suhu karbonisasi pada karbon aktif. EDLC yang telah dibuat, pertama kali diuji dengan mengisi daya menggunakan *power supply* dengan waktu 10, 30, dan 60 menit sehingga didapatkan nilai tegangan maksimum dari EDLC yang dapat disajikan pada gambar dibawah.



Gambar 9. Perbandingan T vs V pada EDLC

Dari pengujian pertama, dapat disimpulkan bahwa EDLC dengan karbon aktif yang berasal dari limbah botol plastik dengan GPE yang telah dibuat terbukti dapat menyimpan energi sesuai dengan data diatas. Dimana, hasil terbaik yaitu pada EDLC dengan menggunakan karbon aktif variasi karbonisasi 500 °C dalam waktu 1 jam karena dapat menyimpan tegangan yang lebih besar seiring meningkatnya waktu yaitu dapat menyimpan tegangan sebesar 1.227 Volt dibandingkan dengan EDLC AC-600 dan AC-700. Hal ini sejalan dengan (Taer, Buku Ajar Dr. Erman Taer, M.Si., 2018) yang menyatakan bahwa kapasitas dapat meningkat dengan cepat dengan ukuran pori yang berkurang. Dimana semakin tinggi nilai karbonisasi maka semakin besar ukuran pori, yang akan menyebabkan semakin berkurang kaspasitas yang dapat disimpan.

4. KESIMPULAN

Karbon aktif yang berhasil dibuat memiliki komposisi 100% karbon yang merupakan *porous activated carbon* jenis mikropori dengan ukuran volume pori rata-rata pada variasi pemanasan 500 °C, 600 °C dan 700 °C berturut-turut ialah 0,0362643 cm³/g, 0,0416015 cm³/g dan 0,0450067 cm³/g. Karbon aktif yang dihasilkan berhasil diimplementasikan sebagai elektroda pada EDLC dimana semakin tinggi suhu karbonisasi menyebabkan turunnya jumlah tegangan yang dapat disimpan dalam EDLC dengan nilai

berturut-turut sebesar 1,227 V, 1,197 V dan 1,116 V.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan anugerah-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan Artikel ini. Kami mengucapkan terima kasih kepada Simbelmawa yang telah memberikan kesempatan kepada kami untuk menerima hibah PKM RE tahun 2021. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Kalimantan dan jajarannya yang telah memfasilitasi kami untuk melakukan penelitian. Kami menyadari bahwa penyusunan artikel ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kami mengharapkan segala kritik dan saran yang membangun. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulkadir, B. A., Dennis, J. O., Fadhlullah, M., Nasef, M. M., & Usman, F. (2020). Preparation and Characterization of Gel Polymer Electrolyte Based on PVA-K₂CO₃. *Polymer-Plastics Technology and Materials*.
- Ahmed, S., Ahmed, A., & Rafat, M. (2018). Supercapacitor Performance of Activated Carbon Derived from Rotten Carrot in Aqueous, Organic and Ionic Liquid Based Electrolytes. *Journal of Saudi Chemical Society*.
- Alwaan, I. M., & Jaleel, M. A. (2020). Preparation and Characterization of Activated Carbon with (ZnCl₂ - Activated) from (PET) Bottle Waste for Removal of Metal ions (Cu⁺²) in Aqueous Solution. *INTCSET*.
- Astuti, W., Handayani, A. D., & Wulandari, D. A. (2018). Adsorpsi Methyl Violet oleh Karbon Aktif dari Limbah Tempurung Kelapa dengan Aktivator ZnCl₂ Menggunakan Pemanasan Gelombang Mikro. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 13(2), 189-200.
- Bazargan, A., Hui, C. W., & McKay, G. (2013). Porous Carbons from Plastic Waste. *Advances in Polymer Science*.
- Conder, J., Fic, K., & Ghimbeu, C. M. (2020). Supercapacitors (Electrochemical Capacitors). *HAL*.
- Domingo-García, M., Fernández, J., Almazán-Almazána, M., & López-Garzóna, F. (2010). Poly(ethylene terephthalate)-

- Based Carbons as Electrode Material in Supercapacitors. *Journal of Power Sources*.
- Du, J. F., Kim, Y. R., & Jeong, H. T. (2016). Flexible Polyethylene Terephthalate (PET) Electrodes Based on Single-Walled Carbon Nanotubes (SWCNTs) for Supercapacitor Application. *Composite Interfaces*.
- Fibarzi, W. U. (2021). *Pembuatan Sel Superkapasitor Berbasis Gel Polymer Electrolyte (Gpe) Dengan Karbon Aktif Sebagai Elektroda*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Gordon, A., Locwin, D. B., Collins, K., Narayan, L., Edge, L., Aliño, M., . . . Silva, V. C. (2020). *Branded Vol. III: Demanding Corporate Accountability for Plastic Pollution*. (M. Ivlev, F. Torres, A. Martynenko, & C. Marncé, Eds.) Break Free from Plastic.
- Habibah, M. D., Nurdiana, H., Rohmawati, L., & Setyarsih, W. (2014). Sintesis Nanopori Karbon Aktif dari Tempurung Kluwak (Pangium Edule). *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika*, 5, 1.
- Kusumaningtyas, M. P. (2017). *Analisis Struktur Nano Batu Apung Lombok Menggunakan Metode BET (Brunauer-Emmett-Teller)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Prasodjo, P. (2010). *Studi Kapasitas Adsorpsi Serta Dinamika Adsorpsi Dan Desorpsi Dari Nanotube Karbon Sebagai Penyimpan Hidrogen*. Depok: Universitas Indonesia.
- Sahin, Ö., Saka, C., Ceyhan, A. A., & Baytar, O. (2015). Preparation of High Surface Area Activated Carbon from *Elaeagnus angustifolia* Seeds by Chemical Activation with ZnCl₂ in One-Step Treatment and its Iodine Adsorption. *Separation Science and Technology*, 886-891.
- Shao-yun, Z., Xin-hai, L., Zhi-xing, W., Hua-jun, G., & Wen-jei, P. (2007). Effect Of Activated Carbon And Electrolyte On Properties Of Supercapacitor. *Science Press*.
- Sirasit Meesiri¹, S. N., Homnan, W., & Homnan, A. (2020). Polyethylene Terephthalate Based Activated Carbon Production: Preliminary Study on KOH Activation with Microwave Asssist. *International Journal of GEOMATE*, 17-24.
- Sudarmi. (2010). *Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif Tongkol Jagung (Zea Mays L.) Terhadap Zat Warna Rhodamin B*. Makassar: UIN Alauddin.
- Taer, E. (2018). *Buku Ajar Dr. Erman Taer, M.Si. Riau*.
- Taer, E., & Rika. (2016). Studi Interaksi Elektrolit Cair dan Gel dalam Elektroda Karbon Aktif Mesopori pada Sebuah Sel Superkapasitor. *Simposium Fisika Nasional*, 19-21.
- Tumimomor, F., Maddu, A., & Pari, G. (2017). Pemanfaatan Karbon Aktif dari Bambu sebagai Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Ilmiah Sains*, 17(1).
- Utetiawabo, W., Yang, L., Tufail, M. K., Zhou, L., Chen, R., & Lian, Y. (2020). Electrode Materials Derived from Plastic Wastes and Other Industrial. *Chinese Chemical Letters*.
- Wardhana, I. W., Siwi H., D., & Ika R., D. (2013). Penggunaan Karbon Aktif dari Sampah Plastik untuk Menurunkan Kandungan Fospat pada Limbah Cair. *JurnalPRESIPITASI*.
- Wei, X.-q., Li, Q.-h., Li, H.-c., Li, H.-j., & Chen, S.-x. (2015). The Use of ZnCl₂ Activation to Prepare Low-cost Porous Carbons Coated on Glass Fibers Using Mixtures of Novolac, Polyethylene Glycol and Furfural as Carbon Precursors. *New Carbon Materials*, 30(6).
- Yuliusman, Nasruddin, Sanal, A., Bernama, A., Haris, F., & Ramadhan, I. (2016). Preparation of Activated Carbon from Waste Plastics Polyethylene Terephthalate as Adsorbent in Natural Gas Storage. *International Conference on Advanced Materials for Better Future 2016*.