

## Sintesis dan Karakterisasi Elektroda Superkapasitor Berbasis Karbon Aktif Limbah Kulit Nanas

Mifthahul Chairani<sup>1</sup>, Ananda Putra<sup>2</sup>

<sup>12</sup>Program Studi Kimia, Universitas Negeri Padang Sumatera Barat  
e-mail: [mifthahulchairani04@gmail.com](mailto:mifthahulchairani04@gmail.com)

### Abstrak

Karbon aktif dari kulit nanas telah dimanfaatkan sebagai bahan dasar elektroda superkapasitor. Pembuatan karbon aktif kulit nanas ini dikarbonisasi menggunakan furnace selama 1 jam pada suhu 350°C lalu diaktivasi dengan aktivator ZnCl<sub>2</sub> 2M dengan perendaman 48 jam. Pelet dicetak seperti koin lalu di aktivasi lagi menggunakan 3 elektrolit yaitu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M, KOH 1M dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M. Kapasitansi spesifik menggunakan elektroda karbon aktif kulit nanas dengan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) yaitu pada elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M diperoleh nilai kapasitansi tertinggi sebesar 66,25 F/g<sup>-1</sup>. Karakterisasi elektroda karbon aktif optimum menggunakan UV-DRS didapatkan nilai band gap dari elektroda superkapasitor optimum yaitu 3,08 eV. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan bahwa elektroda karbon terdapat beberapa gugus fungsi utama yaitu H-O, C=C, S=O, dan S-O.

**Kata kunci :** *Karbon Aktif, Superkapasitor, Elektrolit, Nilai Kapasitansi*

### Abstract

Activated carbon from pineapple peel has been utilized as a base material for supercapacitor electrodes. The manufacture of pineapple peel activated carbon is carbonized using a furnace for 1 hour at a temperature of 350°C and then activated with 2M ZnCl<sub>2</sub> activator with 48 hours immersion. The pellets were molded like coins and then activated again using 3 electrolytes, namely H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M, KOH 1M and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M. Specific capacitance using pineapple peel activated carbon electrode with *Cyclic Voltammetry* (CV) method is at 1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> electrolyte obtained the highest capacitance value of 66.25 F/g<sup>-1</sup>. Characterization of the optimum activated carbon electrode using UV-DRS obtained the band gap value of the optimum supercapacitor electrode is 3.08 eV. FTIR characterization results showed that the carbon electrode contained several main functional groups, namely H-O, C=C, S=O, and S-O.

**Keywords :** *Activated Carbon, Supercapacitor, Electrolyte, Capacitance Value*

## PENDAHULUAN

Dengan peningkatan aktivitas ekonomi di Indonesia dalam bidang industri, transportasi, komersial dan rumah tangga, permintaan energi yang terus bertambah sehingga mendorong banyaknya sumber energi alternatif yang berbeda untuk mengatasi permasalahan tersebut (Habibah et al., 2016). Salah satu perangkat penyimpanan energi yang umum digunakan adalah baterai. Baterai memiliki kapasitas daya kecil dan proses pengisian yang relatif lama. Keterbatasan kapasitas mempengaruhi waktu penggunaan yang singkat sebelum diisi ulang. Selain itu baterai dinilai tidak ramah lingkungan karena limbahnya mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3) (Ellabban et al., 2014).

Superkapasitor baru-baru ini menunjukkan kapasitas tinggi untuk memenuhi kebutuhan energi, terutama untuk energi listrik yang portabel (Taer et al., 2015). Superkapasitor lebih unggul daripada baterai dan sel bahan bakar dalam beberapa hal dikarenakan masa pakainya yang lebih lama, konstruksi dan prinsipnya yang sederhana, waktu pengisian yang cepat, kepadatan daya yang tinggi, keamanan, dan waktu pengisian yang singkat. Superkapasitor atau dikenal *Electrochemically Double-Layer Capacitor* (EDLC) adalah perangkat penyimpanan energi elektrokimia lapisan rangkap listrik berupa elektroda yang didalamnya terjadi penyimpanan muatan dengan cepat melalui ion elektrolit yang dipisahkan oleh separator. Nilai kapasitansi sel superkapasitor di pengaruhi oleh bahan baku elektroda yang digunakan (Abioye & Ani, 2015).

karbon aktif merupakan material elektroda superkapasitor karena karbon aktif adalah material berpori yang diperoleh melalui proses karbonisasi dan aktivasi yang mengandung 85-95% karbon (Gultom & Lubis, 2014). Karbon aktif dari bahan biomassa mengandung bahan lignoselulosa seperti lignin, selulosa, hemiselulosa yang berperan dalam membangun struktur karbon aktif. Dalam beberapa tahun terakhir, superkapasitor dibuat menggunakan bahan yang terbuat dari biomassa. Kulit nanas memiliki kandungan lignin sebesar 4,03%, hemiselulosa 42,72% dan selulosa 23,39%. Kandungan tersebut menjadikan Kulit nanas sebagai sumber karbon yang sangat baik sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar yang digunakan dalam pembuatan elektroda superkapasitor (Gultom & Lubis, 2014).

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode aktivasi kimia dan karakterisasi elektroda superkapasitor karbon aktif Kulit nanas menggunakan *Diffuse Reflectance – Ultra Violet* (DR-UV) untuk pengamatan energi (*band gap*) yang dihasilkan, *Spectroscopy Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengidentifikasi struktur kimia berupa jenis ikatan dan gugus fungsi yang dihasilkan dan *X-ray Diffraction* (XRD) untuk menentukan fasa kristalin yang terbentuk dari elektroda, serta pengukuran sifat-sifat elektrokimia pada elektroda dengan *cyclic voltammetry* (CV), dan *Galvanostatic charge- discharge* (GCD).

## METODE

### **Alat dan bahan**

Alat-alat yang digunakan yaitu pisau, spatula, cawan porselen, kurs porselen, pipet tetes, batang pengaduk, lumpang dan alu, botol semprot, corong, gelas kimia 50 ml, 200 ml dan 500 ml, gelas ukur 10 ml dan 50 ml, pH meter, stainless steel, penjepit buaya, *hidrolic press*, *furnace*, neraca analitik, XRD, DR-UV, FTIR, CV dan GCD. Bahan yang digunakan pada penelitian ini menggunakan kulit nanas (*Ananas comosus* L.Merr),  $ZnCl_2$ ,  $H_2SO_4$  1M, KOH 1M,  $Na_2SO_4$ , HCl 1M, aluminium foil, aquades, ampelas, separator membran cangkang telur dan kertas saring Whatman No.42.

### **Prosedur Kerja**

Kulit nanas dicuci dengan air bersih lalu dijemur sampai kering dibawah sinar matahari kemudian dioven pada suhu  $110^{\circ}C$ . Proses karbonisasi kulit nanas di *furnace* pada suhu  $350^{\circ}C$  selama 1 jam didalam kurs porselen yang telah dibungkus menggunakan aluminium foil, setelah itu didinginkan didalam desikator. Karbon kulit nanas hasil pembakaran tadi dihaluskan menggunakan lumpang dan alu kemudian disaring menggunakan ayakan  $250\mu m / 60$  mesh. Selanjutnya tahap aktivasi dilakukan dengan cara perendaman selama 5 gram sebanyak 20 ml hasil karbon pembakaran selama 24 jam dengan reagen aktivator  $ZnCl_2$  2M. Selanjutnya disaring menggunakan kertas saring Whatman no. 42 dan dicuci dengan aquades sampai pH netral. Oven selama 1 jam menggunakan suhu  $105^{\circ}C$ . Setelah itu dilakukan uji kadar air,abu,uap dan karbon terikat. Karbon aktif ditimbang 0,7 gram kemudian dijadikan pellet menggunakan *hidroullic press* pada tekanan 8 ton selama 2 menit. Kemudian berat pellet ditimbang dan ukur ketebalannya dan diameternya. Setelah elektroda berhasil dibuat, kemudian dilakukan pengujian pengukuran kapasitansi spesifik menggunakan uji Sifat elektrokimia diukur dengan *cyclic voltammetry* dan *galvanostatic charge-discharge*. Sifat elektrokimia ini diukur dengan menggunakan 3 jenis elektrolit yaitu  $H_2SO_4$ , KOH dan  $Na_2SO_4$  pada laju pemindaian  $1 mVs^{-1}$  dan rentang tegangan 0-1 Volt.

Rumus untuk mengetahui nilai kapasitansi spesifik menggunakan CV adalah :

$$C_{spCV} = \frac{Ic - Id}{s \times m}$$

Rumus untuk mengetahui nilai kapasitansi spesifik menggunakan GCD adalah :

$$C_{spGCD} = \frac{I \times \Delta t}{m \times \Delta v}$$

Elektroda superkapasitor yang memiliki nilai kapasitansi yang terbaik dilakukan pengujian karakterisasi tambahan berupa karakterisasi *Diffuse Reflectance-UV* (DR-UV), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR).

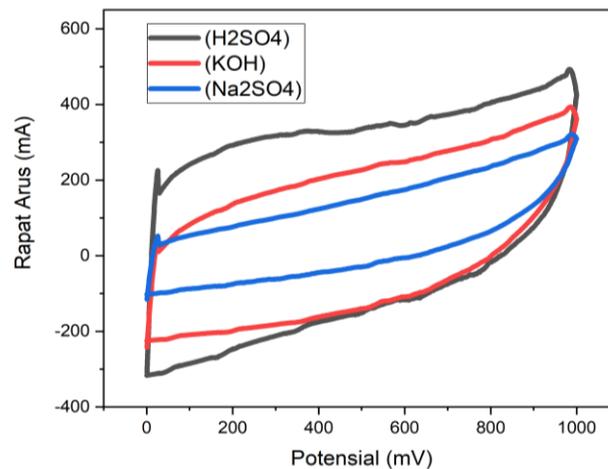
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisa Pengukuran Sifat Elektrokimia Sel Superkapasitor

#### 1. Analisis *Cyclic Voltammetry (CV)*

*Cyclic Voltammetry (CV)* merupakan salah satu metode pengukuran sel elektrokimia pada sel superkapasitor. Tujuan penggunaan metode ini adalah untuk memberikan informasi tentang sifat-sifat elektrokimia, termasuk potensial, kapasitansi dan masa pakai (Kalpana et al., 2009). (Kalpana et al., 2009). Kapasitansi spesifik ( $F/g^{-1}$ ) merupakan kemampuan suatu elektroda untuk menyimpan muatan pada tegangan tertentu per satuan massa dari elektroda. Data pengukuran CV adalah hubungan antara rapat arus (A) dan tegangan (V) yang menghasilkan kurva histeresis. Arus dibagi menjadi dua yaitu arus *charge* ( $I_c$ ) dan arus *discharge* ( $I_d$ ). Arus *charge* terjadi saat ion-ion yang berasal dari variasi jenis elektrolit  $H_2SO_4$  1M,  $KOH$  1M,  $Na_2SO_4$  1M yang diberikan mulai memasuki pori elektroda ketika diberi tegangan 0-1 V, sedangkan arus *discharge* terjadi saat ion-ion kembali keluar dari pori ketika tegangan dilepaskan yaitu dari 1-0 V (Taer et al., 2019).

Laju pemindaian yang digunakan sebesar 1 mV/s mengindikasikan bahwa tegangan dinaikkan sebesar 1 mV setiap 1 detik hingga mencapai 1000 mV atau 1 V. Laju pemindaian 1 mV/s merupakan waktu yang lebih lama untuk ion-ion yang berasal dari larutan elektrolit terdifusi secara merata untuk mengisi karbon. Pada laju pemindaian 1 mV/s ion-ion akan terdifusi secara (Taer et al., 2016). Kurva CV untuk elektrolit  $H_2SO_4$  1M,  $KOH$  1M, dan  $Na_2SO_4$  1M pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1



**Gambar 1.** kurva CV untuk sel superkapasitor dari kulit nanas yang diuji dengan elektrolit  $H_2SO_4$  1M,  $KOH$  1M, dan  $Na_2SO_4$  1M.

Gambar 1. menunjukkan kurva CV untuk sel superkapasitor dari elektroda karbon aktif kulit nanas yang diuji dengan elektrolit  $H_2SO_4$  1M, KOH 1M, dan  $Na_2SO_4$  dengan konsentrasi masing-masing 1M. Kurva diatas berbentuk hysteresis miring ke atas yang artinya superkapasitor memiliki sifat lapisan ganda listrik (EDLC) yang normal. Bentuk kurva hysteresis keatas mengindikasikan adanya peningkatan arus seiring dengan pertambahan tegangan. Peningkatan arus ini menunjukkan bahwa kinerja kapasitatif yang ideal untuk tipe normal superkapasitor elektrokimia lapis ganda Listrik (EDLC) yang disertai dengan karakteristik pseudo-kapasitansi. Superkapasitor EDLC normal menunjukkan kurva CV yang relatif segiempat yang baik (Wang et al., 2019)

Pada gambar Nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan oleh elektroda karbon ditunjukkan oleh area yang terbentuk antara arus *charge* ( $I_c$ ) dan arus *discharge* ( $I_d$ ). Arus yang terbentuk selama proses pengosongan (*discharge*) ditunjukkan oleh kurva bagian bawah, dan arus yang terjadi selama proses pengisian (*charge*) ditunjukkan oleh kurva bagian atas. Semakin besar daerah Kurva  $I_c$  - $I_d$  yang terbentuk maka nilai kapasitansi spesifik elektroda karbon yang dihasilkan akan semakin (Taer et al., 2016). Berdasarkan kurva  $I_c$ - $I_d$  yang terbentuk pada gambar 7 mengindikasikan nilai kapasitansi spesifik paling tinggi diperoleh pada sampel elektroda karbon dengan perendaman  $H_2SO_4$  1 M, karena memiliki luas daerah kurva  $I_c$ - $I_d$  yang paling besar, sedangkan sampel dengan perendaman elektrolit  $Na_2SO_4$  1 M diindikasikan memiliki nilai kapasitansi spesifik paling rendah karena memiliki luas daerah kurva  $I_c$ - $I_d$  yang paling kecil. Selain kurva  $I_c$  dan  $I_d$  yang lebar massa elektroda juga mempengaruhi besarnya nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan, semakin kecil massa elektroda maka nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan semakin tinggi (Taer et al., 2016).

**Tabel 4. 1 Nilai kapasitansi spesifik sel superkapasitor dengan elektrolit 1M  $H_2SO_4$ , 1M KOH, dan 1M  $Na_2SO_4$**

Jenis Aktivator	Csp ( $F/g^{-1}$ )	E(Wh/kg)	P(W/kg)
$H_2SO_4$	66,25	9,2013	33,1246
KOH	45,75	6,3541	22,8748
$Na_2SO_4$	22,25	3,0902	11,1247

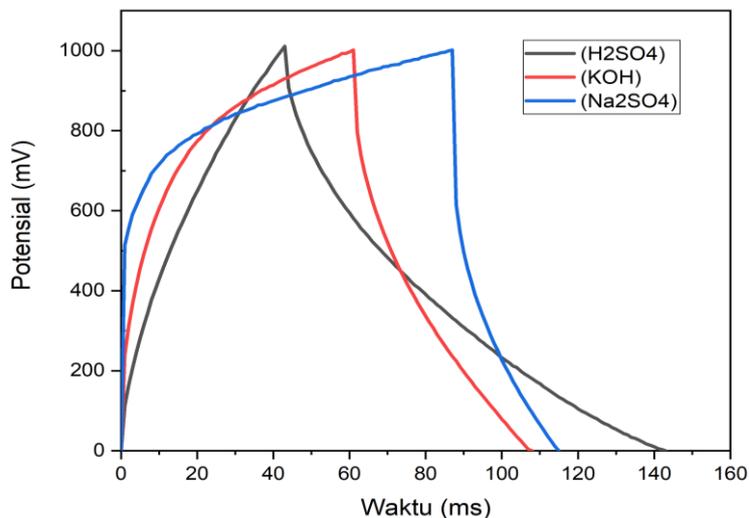
Pada tabel diketahui bahwa sampel kulit nanas dengan perendaman elektrolit  $H_2SO_4$  memiliki nilai kapasitansi tertinggi 66,25  $F/g^{-1}$  sedangkan dengan elektrolit  $Na_2SO_4$  memiliki nilai kapasitansi terendah 22,25  $F/g^{-1}$ . Hal ini menunjukkan bahwa elektrolit  $H_2SO_4$  berkinerja baik karena memiliki konduktivitas ion yang tinggi dan resistansi yang (Zhong et al., 2015). Selanjutnya, elektrolit  $H_2SO_4$  terurai menjadi ion  $H^+$  dan  $SO_4^{2-}$  dalam larutan, serta memiliki ukuran ion yang sangat kecil (Endo et al., 2001). Elektrolit  $H_2SO_4$  juga memiliki diameter ion yang sesuai untuk difusi ke pori -pori

karbon aktif berbasis biomassa (Taer et al., 2015). Untuk elektrolit KOH dengan nilai kapasitansi  $45,75 \text{ F/g}^{-1}$  yang masih menunjukkan kinerja yang baik. KOH termasuk elektrolit hidroksida yang larut dalam air serta  $\text{OH}^-$  memiliki konduktivitas yang baik sebagai elektrolit untuk superkapasitor. Untuk elektrolit  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dengan nilai kapasitansi paling rendah  $22,25 \text{ F/g}^{-1}$ .

Perbedaan nilai kapasitansi spesifik elektroda yang dihasilkan dalam larutan elektrolit  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 M, KOH 1 M, dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  1 M dipengaruhi oleh beberapa factor seperti jari-jari ionik terhirasi, mobilitas ionik, dan konduktivitas ionik molar. Semakin tinggi konduktivitas dan mobilitas ion maka ukuran ion akan semakin kecil sehingga pergerakan ion pada permukaan elektroda semakin cepat yang dapat meningkatkan kapasitansi spesifik superkapasitor (Barzegar et al., 2015). Jari-jari ionik terhirasi dari ion  $\text{H}^+$ ,  $\text{K}^+$ , dan  $\text{Na}^+$  masing-masing dalam larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , KOH, dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  yaitu 2.80 mm, 3.31 mm, dan 3.58 mm. Selain itu konduktivitas ionic molar masing-masing ion dalam elektrolit ini juga berbeda. Konduktivitas ionic  $\text{H}^+$  dalam  $\text{H}_2\text{SO}_4$  adalah  $350.1 \text{ S cm}^2/\text{mol}$ ,  $\text{K}^+$  dalam KOH adalah  $73.5 \text{ S cm}^2/\text{mol}$ , dan  $\text{Na}^+$  dalam  $\text{Na}_2\text{SO}_4$   $50.11 \text{ S cm}^2/\text{mol}$  (Zhong et al., 2015). Berdasarkan hasil tersebut dapat dilihat bahwa kinerja elektrolit yang paling baik pada elektroda supekasitor dari karbon aktifkulit nanas secara berurutan yaitu  $\text{H}_2\text{SO}_4 > \text{KOH} > \text{Na}_2\text{SO}_4$ . Hal ini sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa elektrolit asam memberikan nilai kapasitansi spesifik yang lebih besar dibandingkan elektrolit basa dan garam, karena memiliki konduktivitas ion yang tinggi dan hambatan yang rendah (Awitdrus et al., 2022). Selain itu, elektrolit  $\text{H}_2\text{SO}_4$  terurai menjadi ion  $\text{H}^+$  dan ion  $\text{SO}_4^{2-}$  dalam larutan dan memiliki ukuran ion yang sangat kecil sehingga lebih banyak berdifusi ke dalam pori-pori elektroda karbon dibandingkan dengan KOH dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (Endo et al., 2001). Semakin banyak ion yang berdifusi maka akan semakin banyak pula lapisan ganda yang dihasilkan, oleh karena itu nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan pada elektrolit  $\text{H}_2\text{SO}_4$  lebih besar dari elektrolit KOH dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , begitupun dengan energi dan daya yang dihasilkan sel superkapasitor (Zhong et al., 2015).

## 2. Analisis *Galvanostatic charge-discharge*

*Galvanostatic charge discharge* adalah metode lain yang sering digunakan untuk mengevaluasi sifat elektrokimia superkapasitor. Kurva GCD berupa hubungan antara tegangan terhadap waktu seperti pada gambar 8. Kurva GCD menggambarkan pola segitiga yang menunjukkan perilaku EDLC yang memiliki sifat kapasitif yang baik. Plot tegangan yang dihasilkan dari waktu ke waktu adalah linear, dengan kemiringan positif dan negatif. Penyimpangan dari linearitas dapat terjadi ketika tegangan meningkat dari waktu ke waktu dengan resistensi yang sama sehingga menyebabkan tegangan sel turun dengan cepat (penurunan IR) ketika beralih dari pengisian ke pengosongan (Kampouris et al., 2015). Kurva GCD untuk elektrolit  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1M, KOH 1M dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  1M. Pada penelitian ini ditunjukkn pada gambar 2.



**Gambar 2. Kurva GCD Untuk 3 Jenis Elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M, KOH 1 M, dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M.**

Pada gambar menunjukkan kurva GCD untuk sel superkapasitor dari karbon aktif kulit nanas menggunakan 3 jenis elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KOH, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan konsentrasi masing-masing 1M menunjukkan waktu pengisian dan pengosongan yang berbeda-beda. Berdasarkan grafik tersebut elektroda superkapasitor yang direndam dengan elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M memiliki kurva yang lebih luas jika dibandingkan dengan KOH 1 M, dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M, hal tersebut dikarenakan perbedaan waktu pada saat *charge-discharge*. Elektroda dengan perendaman elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M menunjukkan waktu pengukuran *charge-discharge* yang lebih lama dibandingkan elektroda dengan perendaman elektrolit KOH 1 M, dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M. Menurut (Ismanto et al., 2010) perbedaan waktu pada saat proses *charge-discharge* merupakan factor yang mempengaruhi bentuk simetri segitiga sama kaki pada grafik. Perbedaan waktu *charge-discharge* yang sedikit akan membentuk segitiga sama kaki lebih simetris yang mengindikasi efisiensi yang lebih tinggi pada saat *charge-discharge*. Efisiensi yang tinggi pada superkapasitor menunjukkan bahwa elektroda karbon dapat berinteraksi dengan elektrolit atau dengan kata lain karbon memiliki hydrophilicity tinggi pada permukaan.

**Tabel 4 1 Nilai kapasitansi spesifik sel superkapasitor dengan elektrolit 1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1M KOH, dan 1M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**

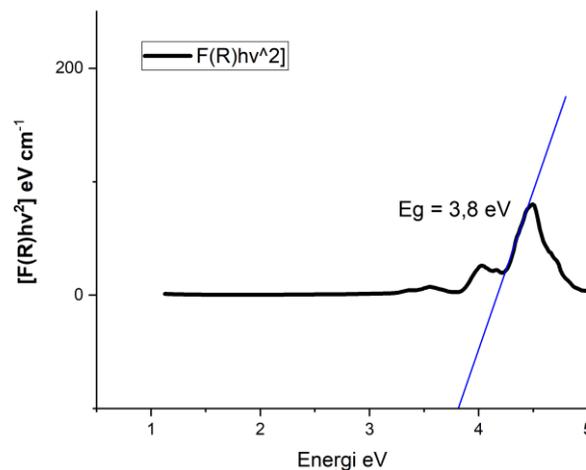
Jenis Elektrolit	Csp	Resistansi
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	28,55	103
KOH	23,54	205
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	14,52	-3

Berdasarkan Tabel, nilai kapasitansi spesifik tertinggi diperoleh dari elektroda karbon aktif menggunakan elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M sebesar 22,85 Fg<sup>-1</sup>. Hal ini dikarenakan

elektroda dengan elektrolit asam dapat diisi dengan banyak ion dari elektrolit dibandingkan basa dan garam. Selain itu sampel dengan dengan elektrolit basa dan garam memiliki waktu pengosongan yang lebih pendek dibandingkan sampel dengan elektrolit asam. Sampel dengan elektrolit asam memiliki waktu pengosongan yang lama sehingga kapasitansi spesifik yang dihasilkan akan lebih besar. Menurut (Taer et al., 2015) jika waktu *charge-discharge* lebih lama mengakibatkan jumlah electron dan ion elektrolit lebih banyak berpartisipasi pada permukaan elektroda, sehingga dapat meningkatkan nilai kapasitansi spesifik pada superkapasitor. Pada analisis GCD, jenis elektrolit terbaik berdasarkan nilai kapasitansi spesifiknya pada sel superkapasitor dari karbon aktif Kulit nenas secara berurutan adalah  $H_2SO_4 > Na_2SO_4 > KOH$ . Hal ini membuktikan bahwa kinerja elektrolit  $H_2SO_4$  menunjukkan kinerja yang optimum dibandingkan dengan elektrolit lain, serta hambatan yang dihasilkan pada elektrolit  $H_2SO_4$  lebih kecil.

#### **Analisis Diffuse Reflection-Ultra Violet (DR-UV)**

Karakterisasi DR-UV bertujuan untuk menentukan nilai celah pita (*band gap*) dari pelet elektroda optimum. Pengujian dilakukan dalam rentang 185-1100 nm. dimana nantinya didapatkan data hubungan reflektansi (%) terhadap panjang gelombang penyinaran dari UV. Data yang didapatkan diolah berdasarkan persamaan Kubelka – Munk dengan memplotkan  $F(R)$  atau factor Kubelka – Munk dengan panjang gelombang untuk mendapatkan nilai energi celah pita dari karbon aktif. Hasil energi celah pita (*band gap*) dari karbon aktif kulit nenas dapat dilihat pada gambar 3.



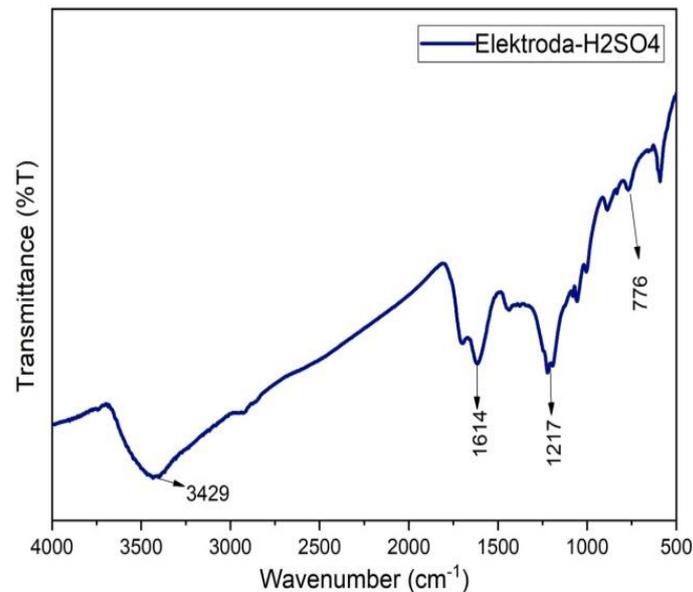
**Gambar 3. Kurva Nilai *Band Gap* dari Eelektrda Superkapasitor optimum**

Berdasarkan gambar menunjukkan bahwa pelet elektroda karbon optimum menghasilkan nilai energi celah pita sebesar 3,8 eV. Hal ini menunjukkan bahwa nilai

3,8 eV ini merupakan energi yang dibutuhkan untuk mengeksitasi electron dari pita valensi ke pita konduksi. Menurut (Aminullah et al., 2019) Energi celah pita ( $E_g$ ) yang berada pada rentang antara 0-4 eV merupakan material semikonduktor. Sedangkan isolator memiliki energi celah pita di atas 4 eV dan konduktor memilikinya celah pita energi di bawah 0,5 eV. Berdasarkan energi celah pita (band gap) yang dihasilkan menunjukkan bahwa karbon aktif dari kulit nenas tergolong material semikonduktor. Material semikonduktor memiliki sifat yang dapat menghantarkan listrik dengan baik jika memiliki celah antar pita yang sempit. Dengan kata lain, semakin kecil energi gap suatu material semikonduktor, maka semakin mudah elektron tereksitasi sehingga material tersebut dapat menghasilkan listrik dengan lebih baik sebagai dampak dari perpindahan elektron yang terjadi (Sukma & Sanjaya, 2023).

#### **Analisis Spektroskopi Fourier Transform Infra Red (FTIR)**

Karakterisasi FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi dari pelet elektroda optimum. Pengujian dilakukan pada interval bilangan gelombang dalam rentang 400-4000  $\text{cm}^{-1}$ . Spektra FTIR merupakan hubungan bilangan gelombang dengan transmitansi. Dari uji spektroskopi FTIR didapatkan spektrum inframerah seperti pada gambar 4.



**Gambar 4. Hasil Analisis FTIR Pelet Elektroda Karbon Aktif optimum**

Berdasarkan spektra FTIR pada gambar 11 dan hasil interpretasi gugus fungsi pada tabel 5 puncak pada kisaran bilangan gelombang 3750-3000  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan getaran peregangan pada daerah gugus fungsi O-H yang ditandai dengan puncaknya yang melebar dan bergeser ke arah gelombang yang lebih pendek dengan adanya ikatan hidroksil (Erabee et al., 2017). Puncak serapan dapat dilihat pada peak elektroda karbon aktif dengan bilangan gelombang  $\text{cm}^{-1}$  dan elektroda karbon aktif

optimum yang direndam dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $3429\text{ cm}^{-1}$ . Adanya gugus O-H hidroksil membuktikan bahwa elektroda dari karbon aktif dari bahan baku Kulit nanas bersifat higroskopis karena terdapat air didalamnya. Selain itu, pada bilangan gelombang  $1217\text{ cm}^{-1}$  terdapat gugus C=C. Gugus C=C menggambarkan struktur penyusun heksagonal karbon aktif (Wibowo et al., 2019)

Serapan pada bilangan gelombang sekitar  $1614\text{ cm}^{-1}$  terdapat gugus S=O, serapan ini muncul akibat terbentuknya gugus sulfonat ( $\text{SO}_3^-$ ) pada permukaan karbon aktif akibat reaksi permukaan karbon aktif engan larutan elektrolit  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (Ranti, 2018). Lalu keberadaan puncak pada bilangan gelombang  $776\text{ cm}^{-1}$  diduga merupakan gugus S-O berikatan tunggal. Serapan tersebut sesuai dengan serapan S=O dan S-O pada penelitian (Iman et al., 2016). Gugus fungsi hidrofilik C-O, C=O, dan O-H dapat meningkatkan hidrofisilitas bahan elektroda. Kehadiran gugus fungsi ini pada permukaan karbon dapat mendukung penyerapan dan pengangkutan ion elektrolit kedalam pori-pori karbon (Zhang et al., 2012).

## SIMPULAN

Elektroda karbon aktif dari kulit nanas telah berhasil dibuat, dengan variasi elektrolit  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , KOH dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dengan konsentrasi masing-masing 1M. Kapasitansi spesifik elektroda karbon kulit nanas berdasarkan hasil pengujian menggunakan metode CV diperoleh kapasitansi spesifik dengan elektrolit 1M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  adalah  $66,25\text{ F/g}^{-1}$  dan pada pengujian menggunakan GCD diperoleh kapasitansi spesifik dengan elektrolit  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pada konsentrasi 1M didapatkan bahwa elektrolit  $\text{H}_2\text{SO}_4$  memiliki pengaruh yang bagus dalam pembuatan elektroda kulit nanas. Nilai band gap karbon aktif optimum didapatkan sebesar 3,8 eV hal ini menunjukkan bahwa karbon aktif kulit nanas tergolong material semikonduktor. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan bahwa elektroda karbon terdapat beberapa gugus fungsi utama yaitu H-O, C=C, S=O, dan S-O. Puncak S=O dan S-O muncul akibat terbentuknya gugus sulfonat ( $\text{SO}_3^-$ ) pada permukaan karbon aktif akibat reaksi permukaan karbon aktif dengan larutan elektrolit  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

## DAFTAR PUSTAKA

- Abioye, A. M., & Ani, F. N. (2015). Recent Development In The Production Of Activated Carbon Electrodes From Agricultural Waste Biomass For Supercapacitors: A Review. In *Renewable And Sustainable Energy Reviews* (Vol. 52, Pp. 1282–1293). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.129>
- Aminullah, Mw., Setiawan, H., Huda, A., Samaulah, H., Haryati, S., & Bustan, Md. (2019). Pengaruh Komposisi Material Semikonduktor Dalam Menurunkan Energi Band Gap Dan Terhadap Konversi Gelombang Mikro. *Jurnal Eccis*, 13(2), 65–70. <https://jurnaleccis.ub.ac.id/>
- Awitdrus, A., Hanifa, Z., Agustino, A., Taer, E., & Farma, R. (2022). Perbandingan Larutan Elektrolit  $\text{H}_2\text{SO}_4$  Dan Koh Pada Kinerja Elektrokimia Bahan Elektroda Berbasis Karbon Aktif Sabut Kelapa Muda. *Jurnal Litbang Industri*, 12(1), 15.

- <https://doi.org/10.24960/Jli.V12i1.7206.15-20>
- Barzegar, F., Momodu, D. Y., Fashedemi, O. O., Bello, A., Dangbegnon, J. K., & Manyala, N. (2015). Investigation Of Different Aqueous Electrolytes On The Electrochemical Performance Of Activated Carbon-Based Supercapacitors. *Rsc Advances*, 5(130), 107482–107487. <https://doi.org/10.1039/C5ra21962k>
- Ellabban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F. (2014). Renewable Energy Resources: Current Status, Future Prospects And Their Enabling Technology. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 39, 748–764. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.113>
- Endo, M., Takeda, T., Kim, Y. J., Koshiba, K., & Ishii, K. (2001). High Power Electric Double Layer Capacitor ( Edlc ' S ); From Operating Principle To Pore Size Control In Advanced Activated Carbons. *Carbon Science*, 1(3), 117–128.
- Erabee, I. K., Ahsan, A., Zularisam, A. W., Idrus, S., Daud, N. N., Arunkumar, T., Sathyamurthy, R., & Al-Rawajfeh, A. E. (2017). A New Activated Carbon Prepared From Sago Palm Bark Through Physiochemical Activated Process With Zinc Chloride. *Engineering Journal*, 21(5), 1–14. <https://doi.org/10.4186/Ej.2017.21.5.1>
- Gultom, E. M., & Lubis, M. T. (2014). Aplikasi Arang Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Aktivator H<sub>3</sub>po<sub>4</sub> Untuk Penyerapan Logam Berat Cd(li) Dalam Pelarut Air. *Jurnal Teknik Kimia Usu*, 3(1), 5–10.
- Habibah, M. D., Rohmawati, L., & Setyarsih, W. (2016). Variasi Holding Time Suhu Aktivasi Karbon Aktif Dari Tempurung Kluwak (Pangium Edule) Sebagai Elektroda Pada Superkapasitor. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (Ifi)*, 05(01), 19–22.
- Iman, N., Razak, A. R., & Nurhaeni, N. (2016). Sintesis Surfaktan Metil Ester Sulfonat (Mes) Dari Metil Laurat. *Kovalen*, 2(2), 54–66. <https://doi.org/10.22487/J24775398.2016.V2.I2.6726>
- Ismanto, A. E., Wang, S., Soetaredjo, F. E., & Ismadi, S. (2010). Preparation Of Capacitor's Electrode From Cassava Peel Waste. *Bioresource Technology*, 101(10), 3534–3540. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.123>
- Kalpna, D., Cho, S. H., Lee, S. B., Lee, Y. S., Misra, R., & Renganathan, N. G. (2009). Recycled Waste Paper-A New Source Of Raw Material For Electric Double-Layer Capacitors. *Journal Of Power Sources*, 190(2), 587–591. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.01.058>
- Kampouris, D. K., Ji, X., Randviir, E. P., & Banks, C. E. (2015). A New Approach For The Improved Interpretation Of Capacitance Measurements For Materials Utilised In Energy Storage. *Rsc Advances*, 5(17), 12782–12791. <https://doi.org/10.1039/C4ra17132b>
- Ranti, D. S. (2018). Sintesis Karbon Aktif Terfungsionalisasi Dari Buah Palem Putri (*Veitchia Merillii*) Dengan Oksidator H<sub>2</sub>so<sub>4</sub> Untuk Adsorpsi Cr(Vi). *Vi*, 1–60.
- Sukma, V. A., & Sanjaya, H. (2023). Efek Penambahan Diethanolamine Dan Suhu Kalsinasi Terhadap Energi Gap Lapisan Tipis Cusno<sub>3</sub>. *Asian Journal Of Science, Technology, Engineering, And Art*, 1(2), 281–294.

- <https://doi.org/10.58578/Ajstea.V1i2.2045>
- Taer, E., Apriwandi, A., Ningsih, Y. S., Taslim, R., & Agustino. (2019). Preparation Of Activated Carbon Electrode From Pineapple Crown Waste For Supercapacitor Application. *International Journal Of Electrochemical Science*, 14(3), 2462–2475. <https://doi.org/10.20964/2019.03.17>
- Taer, E., Syech, R., & Taslim, R. (2015). Analisa Siklis Voltametri Superkapasitor Menggunakan Elektroda Karbon Aktif Dari Kayu Karet Berdasarkan Variasi Aktivator Koh. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) Snf2015, Iv*, 105–110.
- Taer, E., Zulkifli, Z., Arif, E. N., & Taslim, R. (2016). Analisa Kapasitansi Spesifik Elektroda Karbon Superkapasitor Dari Kayu Karet Terhadap Laju Scan Berdasarkan Variasi Aktivasi Hno3. *Spektra: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 1(1), 35–40. <https://doi.org/10.21009/Spektra.011.06>
- Wang, Y., Qu, Q., Gao, S., Tang, G., Liu, K., He, S., & Huang, C. (2019). Biomass Derived Carbon As Binder-Free Electrode Materials For Supercapacitors. *Carbon*, 155, 706–726. <https://doi.org/10.1016/J.Carbon.2019.09.018>
- Zhang, Y., Ghaly, A. E., & Li, B. (2012). Physical Properties Of Corn Residues. *American Journal Of Biochemistry And Biotechnology*, 8(2), 44–53. <https://doi.org/10.3844/Ajbbbsp.2012.44.53>
- Zhong, C., Deng, Y., Hu, W., Qiao, J., Zhang, L., & Zhang, J. (2015). A Review Of Electrolyte Materials And Compositions For Electrochemical Supercapacitors. *Chemical Society Reviews*, 44(21), 7484–7539. <https://doi.org/10.1039/C5cs00303b>