

Pengaruh Jenis Elektrolit Terhadap Nilai Kapasitansi Elektroda Karbon Aktif dari Cangkang Jengkol (*Pithecellobium Jiringa*)

Riskon¹, Ananda Putra²

^{1,2}Departemen Kimia, Universitas Negeri Padang
e-mail: riskon110802@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis elektrolit yang digunakan terhadap nilai kapasitansi dari elektroda karbon aktif cangkang jengkol. Karbon aktif dari cangkang jengkol dibuat melalui beberapa tahap yaitu dehidrasi, karbonisasi dan aktivasi menggunakan $ZnCl_2$ 2 M. Karbon aktif yang telah diaktivasi dikeringkan dan dicuci hingga pH netral, kemudian dicetak menjadi pelet menggunakan hydrolic press dengan tekanan 8 ton. Berdasarkan hasil pengujian larutan elektrolit H_2SO_4 (asam) merupakan larutan elektrolit terbaik. Hal ini dikarenakan tingginya nilai kapasitansi yang dihasilkan yaitu pengujian CV sebesar 43.41176 F/g dan pengujian GCD sebesar 39.07816 F/g. Urutan jenis elektrolit terbaik yang dihasilkan yaitu $H_2SO_4 > KOH > Na_2SO_4$. Elektroda optimum dianalisis menggunakan DR-UV nilai band gap yang dihasilkan sebesar 1.02 eV dan hasil analisis FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi seperti O-H, C=C, S=O, dan S-O.

Kata kunci: *Cangkang Jengkol, Elektroda, Superkapasitor, Kapasitansi Spesifik*

Abstract

This research aims to determine the effect of the type of electrolyte used on the capacitance value of the jengkol shell activated carbon electrode. Activated carbon from jengkol shells is made through several stages, namely dehydration, carbonization and activation using 2 M $ZnCl_2$. The activated carbon that has been activated is dried and washed until the pH is neutral, then molded into pellets using a hydrolic press with a pressure of 8 tons. Based on the test results, the H_2SO_4 (acid) electrolyte solution is the best electrolyte solution. This is due to the high capacitance value produced, namely the CV test of 43.41176 F/g and the GCD test of 39.07816 F/g. The order of the best type of electrolyte produced is $H_2SO_4 > KOH > Na_2SO_4$. The optimum electrode was analyzed using DR-UV, the resulting band gap value was 1.02 eV and the results of FTIR analysis showed the presence of functional groups such as O-H, C=C, S=O, and S-O.

Keywords : *Jengkol Shells, Electrodes, Supercapacitors, Specific Capacitance*

PENDAHULUAN

Superkapasitor merupakan salah satu *device* penyimpanan energi yang telah menarik banyak perhatian karena aplikasinya yang luas mulai dari sumber daya tambahan pada peralatan listrik dari perangkat seluler hingga kendaraan listrik. Superkapasitor menjanjikan kapasitas penyimpanan energi yang besar dibandingkan kapasitor konvensional karena kerapatan daya yang tinggi, kepadatan energi yang tinggi, dan siklus pakai yang panjang (Febriyanto et al., 2019).

Komponen utama dalam pembuatan superkapasitor yaitu elektroda, separator, pengumpul arus (*current collector*), dan larutan elektrolit. Elektroda tersebut dirangkai secara berlapis seperti sandwich dan dipisahkan oleh separator dibagian tengahnya (Aziz et al., 2017). Elektroda berperan penting dalam menentukan nilai kapasitansi spesifik pada superkapasitor. Menurut (Zhou, 2012) material seperti karbon aktif, polimer, dan logam oksida dapat dijadikan sebagai bahan elektroda dalam superkapasitor, namun material elektroda berbasis polimer dan logam oksida jarang digunakan karena kelangkaannya dan biaya yang tinggi. Diantara bahan tersebut karbon aktif merupakan material elektroda superkapasitor yang menarik dan banyak digunakan karena memiliki potensial kerapatan energi yang tinggi, luas permukaan besar, biaya produksi terjangkau dan mudah didapatkan (Aziz et al., 2017).

Karbon aktif adalah material berpori yang diperoleh melalui proses karbonisasi dan aktivasi yang mengandung sekitar 85-95% karbon (Gultom & Lubis, 2014). Salah satu bahan yang dapat dijadikan karbon aktif yaitu limbah biomassa karena mengandung lignin, selulosa, dan hemiselulosa yang merupakan karbon organik. Adapun biomassa yang berpotensi dijadikan sebagai bahan karbon aktif adalah cangkang jengkol.

Cangkang jengkol merupakan lapisan terluar berwarna coklat yang menutupi daging buah jengkol. Jengkol memiliki tiga komponen utama yaitu daging buah, kulit ari, dan cangkang (Setiary Pandia & Budi Warman, 2017). Cangkang jengkol memiliki struktur yang keras dan berlapis-lapis. Kulit luar biasanya kasar dan tebal, sementara lapisan dalamnya lebih halus. Menurut (Hidayah et al., 2019) jumlah cangkang jengkol mencapai 68% sementara biji mencapai 31%, sehingga akan menghasilkan sekitar 7.566 ton limbah cangkang jengkol dan 3.449 ton biji jengkol pertahunnya. Cangkang jengkol memiliki komposisi kandungan selulosa 44,73%, hemiselulosa 19,79%, lignin 32,14%, abu 6,57% dan air 7,90% (Ginting, et al., 2017). Berdasarkan kandungan tersebut membuat cangkang jengkol memiliki potensi yang baik dijadikan sebagai karbon aktif.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jenis elektrolit optimum terhadap nilai kapasitansi yang dihasilkan dari elektroda karbon aktif cangkang jengkol. Elektrolit yang digunakan terdiri atas larutan asam H_2SO_4 , larutan basa KOH, dan larutan garam Na_2SO_4

METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah cangkang jengkol, aquadest, $ZnCl_2$ 2M, H_2SO_4 1M, KOH 1M, Na_2SO_4 1M, aluminium foil, kertas saring Whatman

No. 42, separator, kertas indikator, dan ampelas. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi gelas beaker, batang pengaduk, ayakan, furnace, oven, mortal dan alu, separator, plat *stainless steel*, botol semprot, neraca analitik, *Hydrolic press*. Instrument yang digunakan adalah *Cyclic Voltammetry* (CV-UR Rad-Er 2810), *Galvano Charge-Discharge* (GCD-UR Rad- Er 2018), UV-DRS (SPECORD 210 PLUS - 223F1936C) dan FTIR (FTIR-00-0515).

Prosedur Kerja

Sintesis Karbon Aktif Cangkang Jengkol (*Pithecellebium Jiringa*)

Sintesis karbon aktif dari cangkang jengkol dilakukan melalui tiga tahapan yaitu dehirasi, karbonisasi, dan aktivasi. Cangkang jengkol yang telah dibersihkan didehidrasi dengan melakukan penjemuran dibawah sinar matahari sampai kering. Selanjutnya dikarbonisasi dalam furnace pada suhu 300°C selama 1 jam, kemudian digerus hingga halus lalu diayak dengan ayakan 100 mesh. Setelah itu karbon yang telah halus diaktivasi menggunakan larutan $ZnCl_2$ 2 M dengan rasio 1:10 selama 24 jam. Kemudian dilakukan pencucian dengan aquades hingga pH netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 1 jam.

Preparasi Pelet Elektroda Superkapasitor

Karbon aktif yang dihasilkan dilakukan pencetakan menjadi pellet elektroda menggunakan *hydrolic press* dengan kekuatan tekanan 8 ton selama 2 menit. Kemudian pellet dipoles hingga ketebalan 0.2 mm dan diameter 8 mm. Pelet yang dihasilkan kemudian direndam dalam masing-masing larutan elektrolit H_2SO_4 1 M, KOH 1 M, dan Na_2SO_4 1 M selama 48 jam.

Pengujian Sifat elektrokimia dan Karakterisasi Elektroda Superkapasitor

Sel superkapasitor dirakit menggunakan dua elektroda yang dipisahkan oleh separator dibagian tengahnya. Kedua elektroda diapit bersama menggunakan *stainless steel* sebagai pengumpul arus atau current collector. Sel superkapasitor yang telah dirakit diuji sifat elektrokimianya menggunakan instrument *Cyclic voltammetry* (CV) dan *Galvanostatic charge-discharge* (GCD). Proses pengukuran dilakukan pada rentang potensial 0-1 Volt dengan laju pemindaan 1 mV/s.

Material elektroda superkapasitor dari karbon aktif cangkang jengkol optimum yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan DR-UV untuk mengetahui energi (*band gap*) dan FTIR untuk mengidentifikasi jenis ikatan dan gugus fungsi.

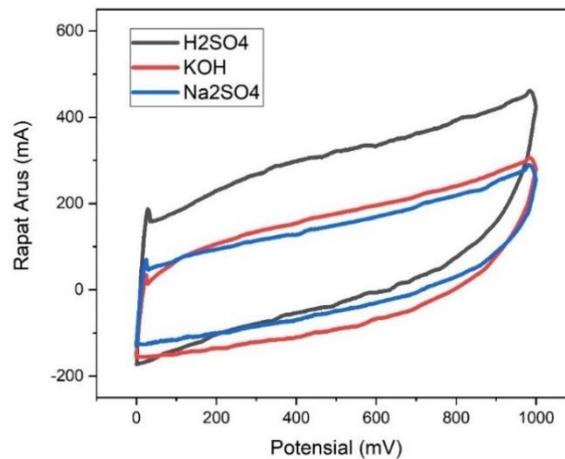
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis *Cyclic Voltammetry* (CV)

Cyclic voltammetry (CV) merupakan salah satu metode pengukuran sel elektrokimia pada sel superkapasitor. Tujuan penggunaan metode ini untuk memberikan informasi mengenai sifat elektrokimia seperti potensial, kapasitansi, dan masa pakai (Kalpana et al., 2009). Data hasil pengukuran CV merupakan hubungan dari rapat arus (A) dan tegangan (V) yang membentuk kurva hysteresis. Lebar kurva yang dihasilkan bergantung pada rapat arus dan tegangan sehingga luas kurva yang dihasilkan mewakili nilai kapasitansi spesifik sel superkapasitor. Arus terbagi menjadi

dua yaitu arus *charge* (I_c) dan arus *discharge* (I_d). Arus *charge* terjadi saat ion-ion yang berasal dari larutan elektrolit yang diberikan mulai memasuki pori dari 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.

Pengujian CV dilakukan pada laju pemindaian 1 mV/s. Laju pemindaian 1 mV/s merupakan waktu yang lebih lama untuk ion-ion yang berasal dari larutan elektrolit terdifusi secara merata untuk mengisi elektroda karbon. Pada laju pemindaian 1 mV/s ion-ion akan berdifusi secara sempurna pada elektroda sehingga efektif digunakan untuk penentuan nilai kapasitansi spesifik (Taer et al., 2016). Gambar 1 menunjukkan kurva hasil pengujian sifat elektrokimia sel superkapasitor menggunakan dari karbon aktif cangkang jengkol dengan 3 perbandingan elektrolit yaitu H_2SO_4 1 M, KOH 1 M, dan Na_2SO_4 1 M



Gambar 1 Kurva Pengujian CV dengan Perbandingan 3 Jenis Elektrolit pada Elektroda Superkapasitor

Berdasarkan gambar 1 kurva CV yang dihasilkan berbentuk hysteresis miring keatas, yang menandakan adanya peningkatan arus seiring dengan pertambahan tegangan. Peningkatan arus ini menunjukkan bahwa kinerja superkapasitor elektrokimia lapis ganda Listrik (EDLC) yang normal. Kurva CV yang dihasilkan pada gambar menunjukkan luas daerah yang terbentuk antara arus *charge* (I_c) dan arus *discharge* (I_d). I_c merupakan arus yang terjadi saat proses pengisian muatan (*charge*) yang ditunjukkan oleh kurva bagian atas, sedangkan I_d merupakan arus yang terbentuk pada saat proses pengosongan (*discharge*) yang ditunjukkan oleh kurva bagian bawah. Semakin besar daerah Kurva I_c - I_d yang terbentuk maka nilai kapasitansi spesifik elektroda karbon yang dihasilkan akan semakin besar. Berdasarkan kurva I_c - I_d yang terbentuk pada gambar 1 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 Ic-I_d yang paling kecil. Selain kurva Ic 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 (Novitra et al., 2022). Untuk nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan dari ketiga jenis elektrolit yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1

Table 1 Nilai Kapasitansi Spesifik Sel Superkapasitor Berdasarkan 3 Variasi Elektrolit H_2SO_4 1 M, KOH 1 M dan Na_2SO_4 1 M

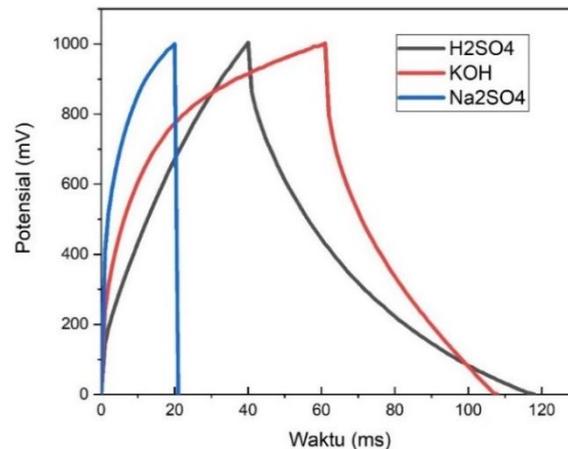
Jenis Elektrolit	Csp (Fg^{-1})	E (Wh kg^{-1})	P (W Kg^{-1})
H_2SO_4	43.41176	6.02941	21.70587
KOH	33.64706	4.67320	16.82352
Na_2SO_4	30.70588	4.26470	15.35292

Pada tabel 1 dapat diketahui bahwa elektroda superkapasitor dari karbon aktif cangkang jengkol yang memiliki nilai kapasitansi tertinggi yaitu sampel dengan perendaman elektrolit H_2SO_4 1 M sebesar 43.41176 Fg^{-1} , sedangkan sampel yang memiliki nilai kapasitansi terendah yaitu sampel dengan perendaman Na_2SO_4 1 M yaitu 30.70588 Fg^{-1} . Hal ini membuktikan bahwa kinerja elektrolit H_2SO_4 menunjukkan kinerja yang optimum dibandingkan dengan elektrolit lain. Sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa elektrolit asam memberikan nilai kapasitansi spesifik yang lebih besar daripada basa dan garam, karena memiliki konduktivitas ion yang tinggi dan hambatan yang rendah (Awitdrus et al., 2022).

Perbedaan nilai kapasitansi spesifik elektroda yang dihasilkan dalam larutan elektrolit H_2SO_4 1 M, KOH 1 M, dan Na_2SO_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 H^+ , K^+ , dan Na^+ masing-masing dalam larutan H_2SO_4 , KOH, dan Na_2SO_4 yaitu 2.80 \AA , 3.31 \AA , dan 3.58 \AA . Selain itu konduktivitas ionic molar masing-masing ion dalam elektrolit ini juga berbeda. Konduktivitas ionic H^+ dalam H_2SO_4 adalah $350.1 \text{ S cm}^2/\text{mol}$, K^+ dalam KOH adalah $73.5 \text{ S cm}^2/\text{mol}$, dan Na^+ dalam Na_2SO_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 supekapasitor dari karbon aktif cangkang jengkol secara berurutan yaitu $\text{H}_2\text{SO}_4 > \text{KOH} > \text{Na}_2\text{SO}_4$. Elektrolit H_2SO_4 terurai menjadi ion H^+ dan ion 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 Na_2SO_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 H_2SO_4 lebih besar, begitupun dengan energi dan daya yang dihasilkan sel superkapasitor (Zhong et al., 2015).

Analisis Galvano Charge-Discharge (GCD)

Galvano Charge-Discharge (GCD) merupakan metode lain yang sering digunakan untuk mengevaluasi sifat elektrokimia superkapasitor. Kurva *Galvano Charge-Discharge* berupa hubungan antara tegangan terhadap waktu. Kurva GCD menggambarkan pola segitiga yang menunjukkan perilaku EDLC yang memiliki sifat kapasitif yang baik. Penyimpangan linearitas dapat terjadi karena peningkatan tegangan setiap penambahan waktu dengan resistensi yang sama dan menyebabkan tegangan sel turun dengan cepat (penurunan IR) saat beralih dari pengisian daya ke pengosongan (Novitra et al., 2022). kurva hasil pengujian GCD sel superkpasitor dari karbon aktif cangkang jengkol dengan 3 perbandingan elektrolit yaitu H_2SO_4 1 M, KOH 1 M, da Na_2SO_4 1 M pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2



Gambar 2 Kurva Pengujian GCD dengan Perbandingan 3 Jenis Elektrolit pada Elektroda Superkapasitor

Pada gambar 2 menunjukkan kurva GCD yang dihasilkan berbentuk segitiga simetris dengan karakteristik non-linear, hal ini mengindikasikan adanya sifat superkapasitor EDLC. Berdasarkan kurva tersebut elektroda superkapasitor yang direndam dengan elektrolit asam H_2SO_4 1 M memiliki kurva yang lebih luas dibandingkan dengan KOH 1 M, dan Na_2SO_4 1 M, hal tersebut dikarenakan perbedaan waktu pada saat *charge-discharge*. Elektroda dengan perendaman elektrolit H_2SO_4 1 M menunjukkan waktu pengukuran charge-discharge yang lebih lama dibandingkan elektroda dengan perendaman elektrolit KOH 1 M, dan Na_2SO_4 1 M. Menurut (Ismanto et al., 2010) perbedaan waktu pada saat proses charge-discharge mempengaruhi bentuk simetri segitiga sama kaki pada grafik. Perbedaan waktu charge-discharge yang sedikit akan membentuk segitiga sama kaki lebih simetris yang mengindikasikan 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.

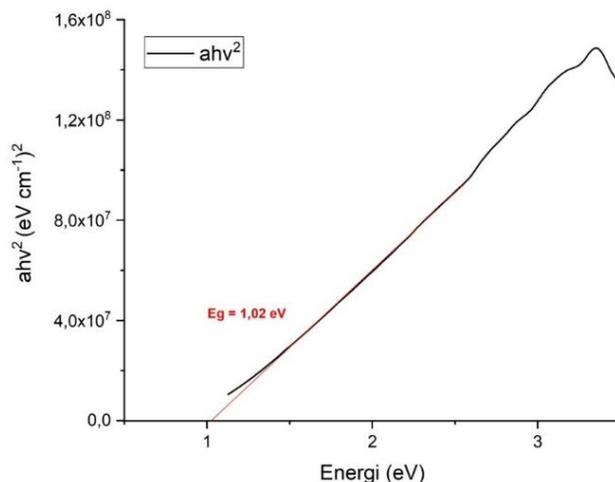
Table 2 Nilai Kapasitansi Spesifik Sel Superkapasitor Berdasarkan 3 variasi elektrolit H₂SO₄ 1 M, KOH 1 M dan Na₂SO₄ 1 M

Jenis elektrolit	Csp (F/g ⁻¹)	Resistensi (Ω)
H ₂ SO ₄	39.07816	0.14
KOH	23.54709	0.20
Na ₂ SO ₄	0.501002	1

Pada tabel 2 menunjukkan bahwa nilai kapasitansi tertinggi yaitu pada elektroda dengan perendaman elektrolit H₂SO₄ 1 M sebesar 39.07816 Fg⁻¹. Sampel dengan elektrolit asam memiliki waktu *charge-ischarge* yang lama sehingga kapasitansi spesifik yang dihasilkan akan lebih besar. 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 cangkang jengkol secara berurutan adalah H₂SO₄ > Na₂SO₄ > KOH. Hal ini membuktikan bahwa kinerja elektrolit H₂SO₄ menunjukkan kinerja yang optimum dibandingkan dengan elektrolit lain, serta hambatan yang dihasilkan pada elektrolit H₂SO₄ lebih kecil.

Analisis Diffuse Reflectance-UV (DR-UV)

Analisis DR-UV bertujuan untuk menentukan nilai celah pita (*band gap*) dari elektroda karbon aktif optimum menggunakan H₂SO₄ 1 M. Pengujian dilakukan dalam rentang panjang gelombang 185-1100 nm. Perhitungan energi *band gap* dilakukan dengan menggunakan persamaan Tauc plot. Metode ini membentuk grafik linear hubungan antara Energi (eV) pada sumbu-x dan (ahv)² disumbu-y.

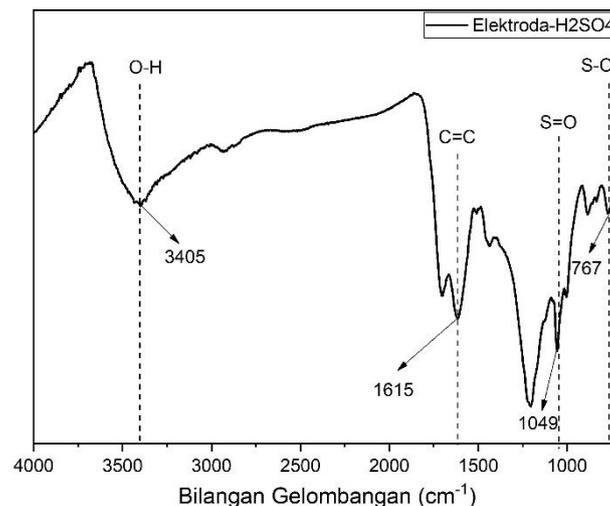


Gambar 3 Kurva Nilai *Band Gap* dari Elektroda Karbon Aktif Optimum Menggunakan H₂SO₄ 1 M

Pada gambar 3 menunjukkan bahwa elektroda karbon aktif dari cangkang jengkol memiliki energi celah pita (*band gap*) sebesar 1,02 eV. Hal ini menunjukkan bahwa nilai 1,02 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. Berdasarkan energi celah pita (*band gap*) yang dihasilkan menunjukkan bahwa karbon aktif dari cangkang jengkol 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)

Analisis FTIR dilakukan untuk melihat dan mendeteksi gugus-gugus fungsi pada material elektroda superkapasitor optimum menggunakan H_2SO_4 1 M. Gugus fungsi ditentukan pada interval bilangan gelombang 400-4000 cm^{-1} . Spektra FTIR merupakan plot intensitas (absorbansi atau % transmitan). Dari uji spektroskopi FTIR didapatkan spektrum inframerah seperti pada gambar 4 berikut.



Gambar 4 Hasil Analisis FTIR Elektroda Karbon Aktif Optimum Menggunakan H_2SO_4 1 M

Berdasarkan spektra FTIR pada gambar 4 menunjukkan adanya puncak serapan pada bilangan gelombang 3405 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus fungsi O-H. Menurut (Erabee et al., 2017) puncak serapan pada kisaran bilangan gelombang 3750-3000 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. Adanya gugus O-H hidroksil membuktikan bahwa elektroda dari karbon aktif dari bahan baku cangkang jengkol bersifat

higroskopis karena terdapat air di dalamnya. Selain itu, pada bilangan gelombang 1615 cm^{-1} terdapat gugus C=C. Gugus C=C menggambarkan struktur penyusun heksagonal karbon aktif (Wibowo, 2019). Serapan pada bilangan gelombang 1049 cm^{-1} terdapat gugus S=O, serapan ini muncul akibat terbentuknya gugus sulfonat (SO^{3-}) pada permukaan karbon aktif akibat reaksi permukaan karbon aktif engan larutan elektrolit H_2SO_4 (Ranti, 2018). Lalu keberadaan puncak pada bilangan gelombang 767 cm^{-1} diduga merupakan gugus S-O berikatan tunggal. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian (Iman et al., 2016) dimana gugus S=O simetri ditandai dengan adanya pita serapan pada bilangan gelombang 1,005– 1,055, dan pita serapan pada rentangan S–O pada bilangan gelombang $750\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan larutan elektrolit H_2SO_4 (asam) merupakan jenis larutan elektrolit terbaik yang digunakan pada elektroda superkapasitor dari karbon aktif cangkang jengkol dibandingkan dengan larutan KOH (basa), dan larutan Na_2SO_4 (garam). Hal ini ditandai dengan besarnya nilai kapasitansi spesifik yang diperoleh yaitu pengujian *Cyclic voltammetry* (CV) sebesar 43.41176 F/g dan *Galvano Charge-Discharge* (GCD) sebesar 39.07816 F/g . Urutan jenis elektrolit terbaik yang dihasilkan yaitu $\text{H}_2\text{SO}_4 > \text{KOH} > \text{Na}_2\text{SO}_4$. Hasil karakterisasi elektroda superkapasitor dengan DR-UV menunjukkan bahwa nilai *band gap* dari elektroda superkapasitor optimum yaitu $1,02\text{ eV}$. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan bahwa elektroda superkapasitor optimum terdapat beberapa gugus fungsi utama yaitu O-H, C=C, S=O, dan S-O.

DAFTAR PUSTAKA

- 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://Jurnaleeccis.Ub.Ac.Id/>
- Awitdrus, A., Hanifa, Z., Agustino, A., Taer, E., & Farma, R. (2022). Perbandingan Larutan Elektrolit H_2SO_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>
- Aziz, H., Tetra, O. N., Alif, A., Syukri, S., & Perdana, Y. A. (2017). Performance Karbon Aktif Dari Limbah Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Zarah*, 5(2), 1–6. <https://doi.org/10.31629/Zarah.V5i2.208>
- 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>

- 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. 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>
- Febriyanto, P., Jerry, J., Satria, A. W., & Devianto, H. (2019). Pembuatan Dan Karakterisasi Karbon Aktif Berbahan Baku Limbah Kulit Durian Sebagai Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Integrasi Proses*, 8(1), 19. <https://doi.org/10.36055/Jip.V8i1.5439>
- Ginting, S.O.Br., Daniel Tarigan Dan Noor Hindryawati. 2017. Impregnasi Natrium Hidroksida Pada Karbon Aktif Cangkang Jengkol Sebagai Katalis Dalam Pembuatan Biodiesel. Kalimantan Timur : Prosiding Seminar Nasional Kimia 2017 Kimia Fmipa Unmul Isbn 978-602-50942-0-0
- Gultom, E. M., & Lubis, M. T. (2014). Aplikasi Karbon Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Aktivator H 3 Po 4 Untuk Penyerapan Logam Berat Cd Dan Pb. *Jurnal Teknik Kimia Usu*, 3(1), 5.
- Hidayah, N., Lubis, R., Wiryawan, K. G., & Suharti, S. (2019). Phenotypic Identification, Nutrients Content, Bioactive Compounds Of Two Jengkol (Archidendron Jiringa) Varieties From Bengkulu, Indonesia And Their Potentials As Ruminant Feed. *Biodiversitas*, 20(6), 1671–1680. <https://doi.org/10.13057/Biodiv/D200624>
- 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., & Ismadji, 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>
- Kalpana, 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>
- Novitra, R., Aziz, H., & Taer, E. (2022). Supercapactors Based On Active Carbon From Spent Arabica Coffee Ground Using Naoh Activators. *Journal Of Aceh Physics Society*, 11(1), 33–40. <https://doi.org/10.24815/Jacps.V11i1.22227>
- Ranti, D. S. (2018). Sintesis Karbon Aktif Terfungsionalisasi Dari Buah Palem Putri (*Veitchia Merillii*) Dengan Oksidator H₂so₄ Untuk Adsorpsi Cr(Vi). *Vi*, 1–60.
- Setiaty Pandia, & Budi Warman. (2017). Pemanfaatan Kulit Jengkol Sebagai Adsorben Dalam Penyerapan Logam Cd (li) Pada Limbah Cair Industri Pelapisan Logam. *Jurnal Teknik Kimia Usu*, 5(4), 57–63. <https://doi.org/10.32734/Jtk.V5i4.1556>

- Sukma, V. A., & Sanjaya, H. (2023). Efek Penambahan Diethanolamine Dan Suhu Kalsinasi Terhadap Energi Gap Lapisan Tipis CuSnO_3 . *Asian Journal Of Science, Technology, Engineering, And Art*, 1(2), 281–294. <https://doi.org/10.58578/Ajstea.V1i2.2045>
- 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 HNO_3 . *Spektra: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 1(1), 35–40. <https://doi.org/10.21009/Spektra.011.06>
- Wibowo. (2019). *Biji Nyamplung*. 15(1), 17–24.
- 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>
- Zhou, J. (2012). *An Experimental Study Of All-Solid-State Mediator Supercapacitor And Fundamental Study Of Interfaces In Polymer Electrolyte Fuel Cell*.