

Sintesis dan Karakterisasi Elektroda Superkapasitor Berbasis Karbon Akrif Limbah Tongkol Jagung

Zulhamida¹, Ananda Putra²

^{1,2}Program Studi Kimia, Universitas Negeri Padang
e-mail: zulhamida14@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis elektrolit yang digunakan terhadap nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan dari elektroda karbon aktif Tongkol jagung. Preparasi karbon aktif dilakukan dengan tahapan dehidrasi, karbonisasi dan aktivasi menggunakan ZnCl_2 2M. Pencetakan pelet dilakukan menggunakan hidrolik press dengan tekanan 8 ton. Pelet elektroda yang dihasilkan direndam menggunakan 3 jenis variasi larutan elektrolit yaitu H_2SO_4 1M, KOH 1M, dan Na_2SO_4 1M selama 48 jam. Data FTIR menunjukkan bahwa terdapatnya gugus fungsi O-H, C=C, C-O, S=O, dan S-O pada elektroda superkapasitor. Hasil uji DR-UV menunjukan bahwa *band gap* dari elektroda karbon aktif adalah 3,28 eV. Pengukuran sifat elektrokimia yang dilakukan dengan metode voltametri siklik menghasilkan kapasitansi spesifik optimum sebesar $58,5 \text{ Fg}^{-1}$ didapatkan pada variasi elektrolit H_2SO_4 1M.

Kata kunci: *Tongkol Jagung, Elektroda, Superkapasitor*

Abstract

This research aims to determine the effect of the type of electrolyte used on the specific capacitance value produced from corn cob activated carbon electrodes. Activated carbon preparation was carried out by dehydration, carbonization and activation using ZnCl_2 2M. Pellet molding is done using a hydraulic press with a pressure of 8 tons. The resulting electrode pellets were soaked using 3 variations of electrolyte solution types namely H_2SO_4 1M, KOH 1M, and Na_2SO_4 1M for 48 hours. FTIR data showed that there were O-H, C=C, C-O, S=O, and S-O functional groups on the supercapacitor electrode. UV-DRS test results indicate that the band gap of the activated carbon electrode is 3.28 eV. Measurement of electrochemical properties carried out by the cyclic voltammetry method resulted in an optimum specific capacitance of 58.5 F/g obtained in the 1M H_2SO_4 electrolyte variation.

Keywords : *Corn cob, Electrode, Supercapacitor*

PENDAHULUAN

Superkapasitor sangat menarik perhatian dalam teknologi penyimpanan energi Listrik, karena memiliki kerapatan energi yang lebih tinggi dibandingkan kapasitor konvensional dan kerapatan daya yang lebih tinggi dibandingkan baterai. Keuntungan lain dari superkapasitor adalah tingkat pengisian yang cepat dan umur siklus pengisian yang panjang (Zuleta et al., 2005). Selain itu, superkapasitor memiliki kemampuan menyimpan energi 10-100 lebih besar daripada baterai dan kapasitor biasa, karena dapat mentransfer muatan faradik untuk meningkatkan performa kapasitansi. Salah satu komponen superkapasitor yang penting adalah elektroda yang memiliki kemampuan untuk mentransfer muatan yang meningkatkan kinerja kapasitansi (Yuda et al., 2021). Pemilihan bahan elektroda dan konstruksi elektroda merupakan faktor kunci dalam meningkatkan kinerja kapasitif superkapasitor (Forouzandeh et al., 2020). Salah satu komponen yang memegang peranan penting dalam meningkatkan performa elektroda adalah elektrolit yang digunakan. Elektrolit akan meningkatkan nilai kapasitansi elektroda superkapasitor. Nilai kapasitansi elektroda akan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi dan konduktivitas ion dari masing-masing elektrolit (Rahmi et al., 2021).

Untuk mendapatkan elektroda yang sesuai yang diinginkan, maka karbon aktif merupakan elektroda yang tepat dalam pembuatan superkapasitor dibandingkan dengan bahan lainnya. Karbon aktif adalah material berpori yang diperoleh melalui proses karbonisasi dan aktivasi yang mengandung sekitar 85-95% karbon (Gultom & Lubis, 2014). Sejauh ini karbon aktif yang banyak digunakan adalah karbon aktif yang terbuat dari limbah biomassa. Selain memanfaatkan limbah yang dapat diubah menjadi sumber energi, pemanfaatan limbah ini juga memiliki keunggulan yaitu mudah didapatkan serta harga yang murah karena ketersediaannya di alam yang melimpah (Nurul Huda et al., 2022; Tumimomor et al., 2017). Tongkol jagung dapat dijadikan sumber bahan baku dalam pembuatan karbon aktif. Kandungan karbon dalam lignin dan selulosa yang terdapat pada tongkol jagung, menjadikan bahan ini dapat dijadikan alternatif dalam pembuatan karbon aktif.

Tongkol jagung memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan karbon aktif karena mengandung lignoselulosa yang sebagian besar terdiri dari lignin (6%), selulosa (41%), dan hemiselulosa (36%) (Meilianti, 2020). Tongkol jagung mengandung komponen terikat seperti karbon sebesar 46,58%, Oksigen 45,46%, Hidrogen 5,78%, Nitrogen 0,47%, kadar abu 1,40%, Klorin 0,21% dan Belerang 0,01% (Marlina & Putra, 2019).

Oleh karena itu, atas dasar pertimbangan dan alasan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk membuat elektroda superkapasitor dari bahan dasar Tongkol jagung dan menentukan jenis elektrolit optimum terhadap nilai kapasitansi yang dihasilkan. Elektrolit yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas larutan asam H_2SO_4 , larutan basa KOH, dan larutan garam Na_2SO_4 .

METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah Tongkol jagung, Seng klorida ($ZnCl_2$), Asam klorida (H_2SO_4 1M), Kalium hidriksida (KOH 1M), Natrium sulfat (Na_2SO_4 1M), Asam klorida (HCl 1M), Kertas saring Whatman no 42, dan membran cangkang telur. Alat yang digunakan diantaranya *furnace*, plat *Stainless steel*, neraca analitik, *hydraulic press*, krus porselen, cawan penguap dan lumpang alu. Instrument yang digunakan adalah Potensiostat untuk pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV) (CV-UR Rad-Er 2810) dan *Galvano Charge-Discharge* (GCD) (GCD-UR Rad- Er 2018), UV-DRS (SPECORD 210 PLUS - 223F1936C), FTIR (FTIR-00-0515) dan XRD (XRD-XPRT PRO PANalytical-PW3040/60-2013).

Prosedur kerja

1. Sintesis Karbon Aktif Tongkol Jagung (*Zea mays*.L)

Sintesis karbon aktif Tongkol jagung dilakukan dengan tiga tahapan yaitu dehidrasi, karbonisasi dan aktivasi. Tongkol jagung yang sudah dibersihkan kemudian didehidrasi dengan cara menjemur di bawah sinar matahari dan di oven pada suhu $110^\circ C$ selama 24 jam. Selanjutnya, dilakukan tahapan karbonisasi pada suhu $290^\circ C$ selama 1 jam. Karbon yang dihasilkan digerus dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh yang kemudian diaktivasi dengan larutan $ZnCl_2$ 2M selama 24 jam. Setelah direndam, karbon aktif yang dihasilkan di saring dan di cuci menggunakan aquades sampai pH netral dan di keringkan dalam oven pada suhu $100^\circ C$.

2. Preparasi Sel Superkapasitor

Sel superkapasitor dirangkai dengan dua buah elektroda yang dihubungkan oleh saporator diantaranya. Pelet elektroda superkapasitor dicetak dengan menimbang 0,7gram karbon aktif kemudian dimasukkan ke dalam cetakan dan ditekan menggunakan *hidroulic press* selama 2 menit dengan tekanan 8 ton. Setelah dipress, pelet diampelas sampai ketelan 0,2 mm dan diameter 8 mm. Pelet yang dihasilkan kemudian direndam di dalam masing-masing larutan elektrolit H_2SO_4 1M, KOH 1M dan Na_2SO_4 1M selama 48 jam.

3. Pengujian Sifat Elektrokimia dan Karakterisasi Elektroda superkapasitor

Sifat elektrokimia diukur menggunakan *Cyclic Voltammetry* (CV) dan *galvanostatic charge-discharge* (GCD). Dalam pengukuran menggunakan dua elektroda dan *plat stainless steel* yang berfungsi sebagai pengumpul arus atau current collector. Kedua elektroda diapit bersama, dengan pemisah (saporator) yang ditempatkan di tengahnya. Proses pengukuran dilakukan pada rentang potensial 0-1 Volt dengan laju pemindaian 1 mV/s (Novitra et al., 2022a)

Rumus untuk mengetahui nilai kapasitansi spesifik menggunakan CV adalah:

$$C_{spCV} = I_c - I_d / s \times m$$

Rumus untuk mengetahui nilai kapasitansi spesifik menggunakan GCD adalah:

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

Elektroda superkapasitor yang memiliki nilai kapasitansi yang terbaik dilakukan pengujian karakterisasi dengan menggunakan *Diffuse Reflectance – Ultra Violet* (DR-UV), dan *Spectroscopy Fourier Transform Infra Red* (FTIR).

HASIL DAN PEMBAHASAN

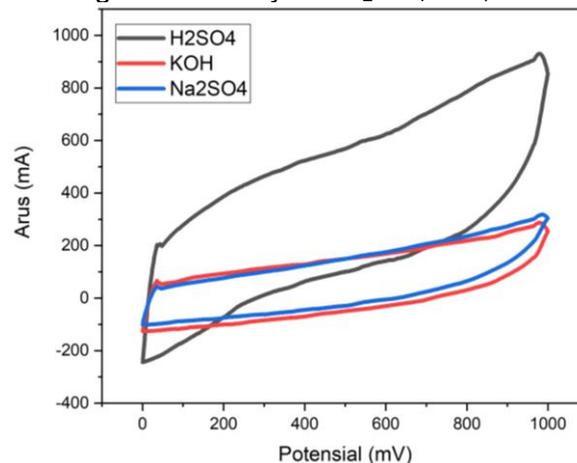
Analisis Elektrokimia Elektroda Superkapasitor

Analisis *Cyclic Voltammetry* (CV)

Cyclic voltammetry (CV) adalah metode yang digunakan untuk mengukur sifat elektrokimia elektroda superkapasitor. Tujuan penggunaan metode ini adalah untuk memberikan informasi tentang sifat-sifat sel elektrokimia, termasuk potensial, kapasitansi, dan masa pakai (Kalpana et al., 2009). Hubungan antara kerapatan arus dan tegangan ditampilkan pada kurva voltametri siklik. Kurva yang dihasilkan pada metode siklik voltametri berbentuk hysteresis. Lebar kurva bergantung pada rapat arus dan tegangan sehingga luas kurva yang dihasilkan mewakili nilai kapasitansi spesifik sel superkapsitor. Nilai kapasitansi meningkat seiring dengan besarnya lebar kurva. Kapasitas elektroda untuk menyimpan muatan pada tegangan tertentu per satuan massa elektroda dikenal sebagai kapasitansi spesifik (Fg^{-1}). (Novitra et al., 2022a). Pada voltametri dilakukan pengukuran arus dengan cara scan potensial, hasil yang didapatkan disebut voltamogram (Wang et al., 2012).

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 grafik hasil pengujian sifat elektrokimia sel superkapsitor 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 Voltametri Siklik pada Elektroda Superkapasitor

Gambar 1 menunjukkan bentuk kurva dari pengujian siklik voltametri pada elektroda superkapasitor dari karbon aktif Tongkol jangung yang menggunakan elektrolit yang berbeda, diantaranya adalah H_2SO_4 1M, KOH 1M, dan Na_2SO_4 1M. Tujuan dari variasi elektrolit ini adalah untuk membandingkan nilai kapasitansi elektroda superkapasitor terhadap elektrolit asam kuat, basa kuat dan garam (netral) dan untuk mengetahui jenis elektrolit optimum dari penelitian. Kurva CV berbentuk persegi panjang terdistorsi menunjukkan bahwa superkapasitor memiliki karakteristik EDLC yang normal. Nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan dapat dilihat dari luas daerah kurva yang terbentuk antara arus *charge* (I_c) dan *discharge* (I_d). I_c dapat dilihat pada kurva bagian atas yang terjadi saat proses pengisian, sedangkan I_d dapat dilihat pada kurva bagian bawah yang terjadi saat proses pengosongan.

Nilai kapasitansi spesifik dipengaruhi oleh luas daerah kurva $I_c - I_d$, semakin luas daerah kurva yang terbentuk maka nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan akan semakin besar. Selain itu, nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh massa elektroda, semakin kecil massa elektroda maka nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan akan semakin besar (Novitra et al., 2022b). Dari gambar dilihat bahwa luas kurva yang paling tinggi ditunjukkan oleh kurva dari elektrolit H_2SO_4 . Sedangkan luas kurva yang paling kecil ditunjukkan oleh kurva dari elektrolit Na_2SO_4 . Untuk nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan dari ketiga elektroda dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai Kapasitansi Spesifik Berdasarkan Variasi Elektrolit H_2SO_4 1M, KOH 1M dan Na_2SO_4 1M

Elektrolit	Csp (Fg^{-1})	E ($Whkg^{-1}$)	P (Wkg^{-1})
H_2SO_4	58.5	8,125	29,25
KOH	25	3,4722	12,4992
Na_2SO_4	11,25	3,09027	11,124972

Tabel 1 menunjukkan nilai kapasitansi spesifik dari elektrolit H_2SO_4 1M, KOH 1M dan Na_2SO_4 1M yang masing-masing nilainya adalah $58,5 Fg^{-1}$, $25 Fg^{-1}$, dan $11,25 Fg^{-1}$. sesuai dengan luas kurva yang dihasilkan, nilai kapasitansi dengan elektrolit H_2SO_4 paling tinggi dan elektrolit Na_2SO_4 paling rendah. Nilai kapasitansi berbanding lurus dengan nilai rapat energi dan rapat daya. Semakin tinggi rapat energi, maka rapat daya akan semakin tinggi juga. Dari tabel dilihat bahwa nilai rapat energi dan rapat daya yang paling tinggi adalah elektrolit H_2SO_4 , yaitu $8,125 Whkg^{-1}$ dan $29,25 Wkg^{-1}$. 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, Hanifa, Agustino, et al., 2022). Menurut Gao (2013) menjelaskan syarat-syarat elektrolit yang digunakan sebagai elektroda superkapasitor. Syarat tersebut diantaranya adalah elektrolit yang digunakan memiliki konduktivitas ionik, stabilitas elektrokimia, konsentrasi ion dan stabilitas termal yang tinggi, jendela tegangan yang lebar, jari-jari ionik, resistivitas, viskositas, dan toksisitas yang rendah. Selain itu, elektrolit

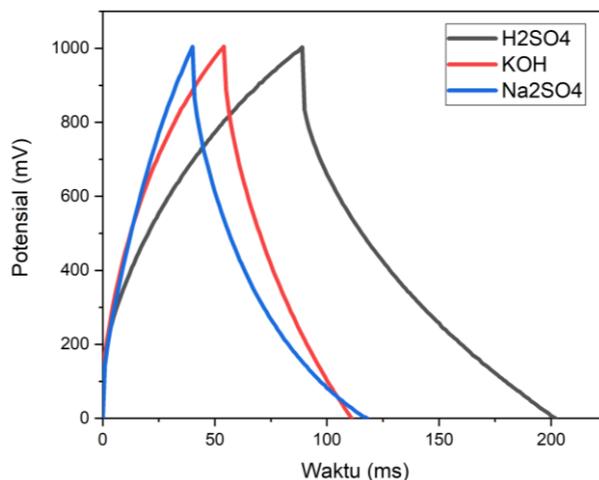
yang digunakan harus memiliki kemurnian yang tinggi serta biaya yang murah (Gao, 2013).

Nilai kapasitansi spesifik sangat berpengaruh dalam kinerja superkapasitor, rapat arus yang dihasilkan merupakan pengaruh pemberian tegangan yang diberikan pada sel superkapasitor, dimana nilai arus ditentukan oleh pergerakan ion-ion didalam pori elektroda dengan membentuk lapisan pasangan muatan. Perbedaan nilai kapasitansi spesifik disebabkan oleh pergerakan ion yang dipengaruhi oleh ukuran, konduktivitas dan mobilitas ion dari suatu elektrolit. 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).

Perbedaan nilai kapasitansi spesifik antara H_2SO_4 , KOH dan $NaSO_4$ dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah jari-jari ionik terhidrasi, mobilitas ionik, dan konduktivitas ionik molar. Jari-jari ionik H^+ , K^+ dan Na^+ masing-masing dalam larutan elektrolit H_2SO_4 , KOH dan $NaSO_4$ yaitu 0,28 nm dan 0,331 nm dan 0,379 nm (Kiriukhin & Collins, 2002). Selain itu, konduktivitas ionik molar masing-masing ion dalam kedua elektrolit ini berbeda. Konduktivitas ionik H^+ dalam H_2SO_4 adalah $350,1 S cm^2 mol^{-1}$ dan K^+ dalam KOH adalah $73,5 S cm^2 mol^{-1}$ dan Na^+ dalam Na_2SO_4 $50,11 S cm^2 mol^{-1}$ (Burke, 2007; Yu et al., 2017; Zhong et al., 2015). Elektrolit H_2SO_4 memiliki jari-jari ionik terhidrasi yang rendah, mobilitas dan konduktivitas ionik yang tinggi, (Awitdrus, Hanifa, Taer, et al., 2022), sehingga menghasilkan nilai kapasitansi yang tinggi pada elektroda karbon aktif Tongkol jagung.

1. Analisis *Galvano Charge-Discharge* (GCD)

Galvanostatic charge discharge (GCD) merupakan metode lain yang sering digunakan untuk mengevaluasi sifat elektrokimia superkapasitor. Superkapasitor melepaskan dua titik tegangan yang ditentukan pada arus konstan. Jenis metoda ini lebih akurat untuk menentukan kinerja superkapasitor. Plot tegangan yang dihasilkan dari waktu ke waktu adalah linier, dengan kemiringan positif dan negatif. Penyimpangan dari linieritas dapat terjadi karena peningkatan tegangan setiap pertambahan waktu, dengan resistansi yang sama dan menyebabkan tegangan sel turun dengan cepat (penurunan IR) saat beralih dari pengisian daya ke pengosongan (Kampouris et al., 2015). Kurva dan tabel nilai kapasitansi GCD untuk elektrolit H_2SO_4 , KOH dan Na_2SO_4 pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2 dan tabel 2.



Gambar 2. Kurva Pengujian Galvanostatic Charge-Discharge pada Elektroda Superkapasitor

Tabel 2. Nilai kapasitansi spesifik sel superkapasitor dengan 3 variasi elektrolit H₂SO₄ 1 M, KOH 1 M dan Na₂SO₄ 1 M.

Jenis elektrolit	Rapat Energi (Whkg ⁻¹)	Csp (F/g ⁻¹)	Resistensi (10 ⁻³ Ω)
H ₂ SO ₄	7,862948	56,61323	28
KOH	5,427522	39,07816	45
Na ₂ SO ₄	3,966266	28,55711	48

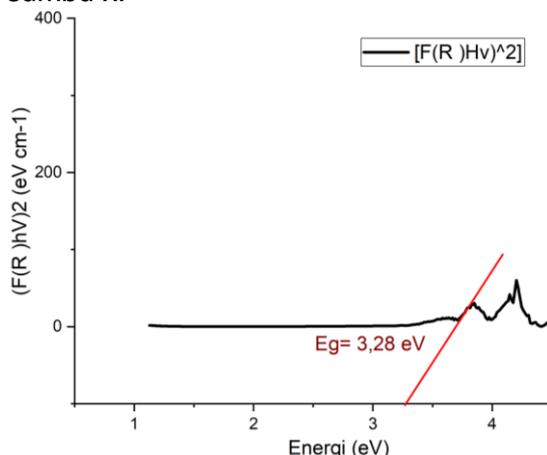
Pada gambar 2 menunjukkan kurva GCD berbentuk segitiga simetris dengan karakteristik *non-linear*, hal ini mengindikasikan adanya sifat superkapasitor EDLC yang ideal pada sampel dan diikuti dengan karakteristik pseudo-kapasitatif akibat dari distribusi unsur sampel yang mengandung heteroatom dari limbah biomassa yang masih tersisa saat proses karbonisasi dan aktivasi. Analisa ini sama dengan analisa pada kurva CV (Apriwandi et al., 2021). Selain itu faktor yang dapat mempengaruhi bentuk simetri dari segitiga pada grafik adalah perbedaan waktu saat proses *charge-discharge*. Perbedaan waktu *charge-discharge* yang sedikit akan membentuk segitiga sama kaki lebih simetris yang menandakan efisiensi juga semakin tinggi pada saat *charge-discharge*. Efisiensi yang tinggi menunjukkan bahwa elektroda karbon dapat berinteraksi dengan elektrolit atau karbon mempunyai *hydrophilicity* yang tinggi pada permukaannya (Ismanto et al., 2010). Sel superkapasitor berbahan dasar Tongkol jagung diuji dengan 3 jenis elektrolit berbeda, yaitu asam kuat, basa kuat dan garam berupa larutan H₂SO₄ 1M, KOH 1M, dan Na₂SO₄ 1M. Ketiga jenis elektrolit menunjukkan waktu *charge-discharge* yang berbeda. Elektroda dengan jenis elektrolit H₂SO₄ 1M menunjukkan waktu *charge-discharge* yang lebih lama dari elektroda dengan jenis elektrolit KOH 1M, dan Na₂SO₄ 1M.

Pada tabel 2 juga dapat dilihat bahwa nilai kapasitansi tertinggi dimiliki oleh elektroda-H₂SO₄ dengan nilai 56,61323 Fg⁻¹. Waktu *charge-discharge* lebih lama

mengakibatkan jumlah elektron dan ion elektrolit lebih banyak berpartisipasi pada permukaan elektroda, sehingga dapat meningkatkan nilai kapasitansi spesifik pada superkapasitor. 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 Reflectance-UV (DR-UV)*

Pada penelitian ini dilakukan uji karakterisasi DR-UV pada elektroda karbon aktif optimum yaitu elektroda yang menggunakan elektrolit H_2SO_4 1M. pengujian dilakukan dengan memberikan energi dalam rentang panjang gelombang 185-1100 nm. Metode pengujian ini didasarkan pengukuran UV-Vis yang direflesikan oleh sampel. Ketika foton ditembakkan pada serbuk elektroda dari bahan dasar karbon aktif, maka sebagian foton akan diserap, sebagian dipantulkan dan ditransmisikan. Hasil karakteristik DR-UV ini menghasilkan informasi berupa spektrum gelombang terhadap reflektansi R (%). Energi celah pita diperoleh dengan mengubah R (%) kedalam faktor Kubelka-Munk F (R). Hal tersebut merupakan metode sederhana teori Kubelka-Munk (Kang et al., 2018) dan metode Tauc Plot (Jumardin et al., 2021) pada instrumentasi spektrometer-difusi. Berdasarkan teori Kubelka-Munk, lapisan material dengan ketebalan x, diradiasikan dengan sejumlah energi radiasi foton, maka material tersebut akan menyerap dan menghamburkan foton. Dengan menggunakan metode Tauc plot, membentuk grafik linear hubungan E (eV) pada sumbu-x dan $(F(R)h\nu)^2$ di sumbu-y dengan menggunakan persamaan sebagai berikut: $(\alpha h\nu)^{1/m} = c(h\nu - E_g)$ (Syabila & Khair, 2022). Plot nilai F(R) terhadap $h\nu$ dan ekstrapolasi daerah liniernya maka dapat ditentukan nilai $h\nu$ pada $F(R)=0$ yang merupakan nilai energi band gap elektroda superkapasitor (Maddu et al., 2022). Gambar 15 memperlihatkan nilai E_g dari material elektroda superkapasitor. Gambar 3 menunjukkan ekstrapolasi linier yang dapat menghitung E_g dari perpotongan terhadap sumbu x.



Gambar 3. Kurva *Band Gap* dari Elektroda Superkapasitor Optimum

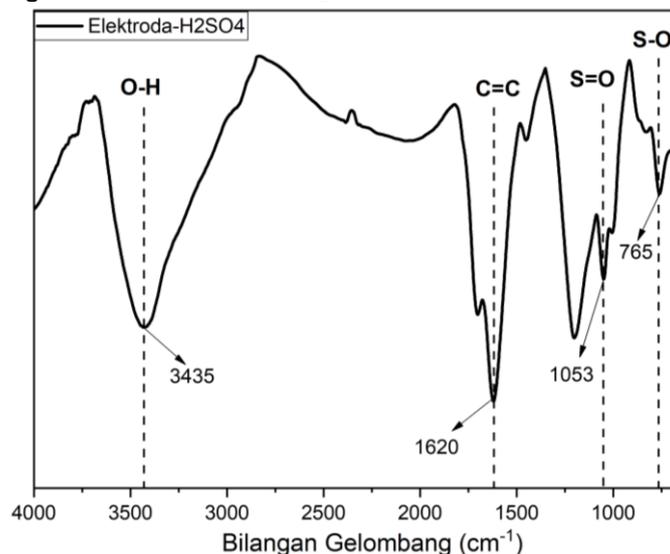
Dari gambar dapat diketahui bahwa nilai E_g dari material elektroda superkapasitor optimum adalah 3,28 eV. Hal ini menunjukkan bahwa nilai 3,28 eV ini

merupakan energi yang dibutuhkan untuk mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Nilai E_g yang dihasilkan dari hasil penelitian ini sudah sesuai dengan teori yang ada. Aminullah, dkk. 2019 mengatakan bahwa suatu material semikonduktor memiliki nilai celah pita (E_g) 0-4 eV (Aminullah et al., 2019). Material semikonduktor memiliki sifat dapat menghantarkan listrik dengan baik jika memiliki celah antar pita yang sempit. Dengan kata lain, semakin kecil energi gap suatu material semikonduktor, maka semakin besar peluangnya untuk diaplikasikan dalam berbagai bidang. Hal ini disebabkan oleh semakin mudahnya elektron tereksitasi jika energi gap-nya kecil, 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)

Spektrometri FTIR merupakan teknik analisis yang didasarkan pada vibrasi molekul ketika menyerap sinar inframerah. Radiasi gelombang elektromagnetik spectrometer FTIR berada pada rentang 400-4000 cm^{-1} . Spektra FTIR merupakan plot intensitas (absorbansi atau % transmittan). FTIR digunakan untuk mengindikasikan gugus fungsi pada suatu sampel (Sofia, 2018).

Karakterisasi FTIR ini dilakukan bertujuan untuk memastikan gugus fungsi dan jenis ikatan yang terdapat pada elektroda superkapasitor. Elektroda yang dikarakterisasi dengan menggunakan FTIR adalah elektroda dengan hasil optimum, yaitu elektroda dengan larutan elektrolit H_2SO_4 1M.



Gambar 4. Spektrum FTIR Elektroda-H₂SO₄

Spektrum FTIR Elektroda-H₂SO₄ menunjukkan adanya serapan pada panjang gelombang tertentu. pada panjang gelombang 3435 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus fungsi O-H (Nayak & Panda, 2010). Adanya gugus O-H hidroksil membuktikan bahwa elektroda dari karbon aktif dari bahan baku Tongkol jagung bersifat higroskopis karena terdapat air di dalamnya. Pada Panjang gelombang 1620 cm^{-1} terdapat gugus

fungsi C=C aromatik. Gugus C=C menggambarkan struktur penyusun heksagonal karbon aktif (Wibowo et al., 2019). Gugus fungsi S=O ditunjukkan pada Panjang gelombang 1053 cm^{-1} sesuai dengan penelitian (Nurliana et al., 2022; Sofia, 2018), sedangkan gugus S-O ditunjukkan pada panjang gelombang 765 cm^{-1} (Nurliana et al., 2022). serapan ini muncul akibat terbentuknya gugus sulfonat (SO^{3-}) pada permukaan karbon aktif akibat reaksi permukaan karbon aktif dengan larutan elektrolit H_2SO_4 (Ranti, 2018). Serapan tersebut sesuai dengan serapan S=O dan S-O pada penelitian (Iman et al., 2016).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah diuraikan, dapat disimpulkan bahwa hasil optimum pengujian adalah dengan menggunakan elektrolit H_2SO_4 . Nilai *Cyclic voltammetry* (CV) dan *Galvano Charge-Discharge* (GCD) yang dihasilkan adalah $58,4\text{ Fg}^{-1}$ dan $56,61323\text{ Fg}^{-1}$. Urutan nilai kapasitansi spesifik dari yang tertinggi adalah $\text{H}_2\text{SO}_4 > \text{KOH} > \text{Na}_2\text{SO}_4$. Hasil karakterisasi elektroda superkapasitor optimum dilakukan menggunakan DR-UV dan FTIR. Nilai DR-UV menunjukkan nilai *band gap* dari elektroda optimum yaitu 3,28 eV. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan bahwa gugus fungsi H-O, C=C, S=O, dan S-O terdapat pada elektroda superkapasitor optimum. Puncak S=O dan S-O muncul akibat terbentuknya gugus sulfonat (SO^{3-}) pada permukaan karbon aktif akibat reaksi permukaan karbon aktif dengan larutan elektrolit H_2SO_4 .

DAFTAR PUSTAKA

- Aminullah, Mw., Setiawan, H., Huda, A., Samulah, H., Haryati, S., & Bustan, Md. (2019). Pengaruh Komposisi Material Semikonduktor Dalam Menurunkan Energi Band Gap Dan Terhadap Konversi Gelombang Mikro. In *Agustus* (Vol. 13, Issue 2). <https://Jurnaleeccis.Ub.Ac.Id/>
- Apriwandi, A., Taer, E., & Farma, R. (2021). Analysis Of Cyclic Voltammetry Dan Galvanostatic Charge Discharge Electrode Supercapacitor Based On Activated Carbon From Kepok Banana Leaf (Musa Balbisiana). *Journal Of Aceh Physics Society*, 10(4), 94–101. <https://doi.org/10.24815/Jacps.V10i4.19491>
- 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>
- 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>
- Burke, A. (2007). R&D Considerations For The Performance And Application Of Electrochemical Capacitors. *Electrochimica Acta*, 53(3 Spec. Iss.), 1083–1091. <https://doi.org/10.1016/J.Electacta.2007.01.011>

- Forouzandeh, P., Kumaravel, V., & Pillai, S. C. (2020). Electrode Materials For Supercapacitors: A Review Of Recent Advances. In *Catalysts* (Vol. 10, Issue 9, Pp. 1–73). Mdpi. <https://doi.org/10.3390/Catal10090969>
- Gao, Q. (2013). *Optimizing Carbon/Carbon Supercapacitors In Aqueous And Organic Electrolytes*. <https://theses.hal.science/Tel-00872080>
- Gultom, E. M., & Lubis, M. T. (2014). Aplikasi Karbon Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Aktivator H₃ Po₄ Untuk Penyerapan Logam Berat Cd Dan Pb. *Jurnal Teknik Kimia Usu*, 3(1), 5.
- 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>
- Jumardin, J., Maddu, A., Santoso, K., & Isnaeni, I. (2021). Synthesis Of Carbon Dots (Cds) And Determination Of Optical Gap Energy With Tauc Plot Method. *Jambura Physics Journal*, 3(2), 73–86. <https://doi.org/10.34312/Jpj.V3i2.11235>
- 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>
- Kang, X., Kang, Y., Hong, X., Sun, Z., Zhen, C., Hu, C., Liu, G., & Cheng, H. (2018). Improving The Photocatalytic Activity Of Graphitic Carbon Nitride By Thermal Treatment In A High-Pressure Hydrogen Atmosphere. *Progress In Natural Science: Materials International*, 28(2), 183–188. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2018.02.006>
- Kiriukhin, M. Y., & Collins, K. D. (2002). Dynamic Hydration Numbers For Biologically Important Ions. *Biophysical Chemistry*, 99(2), 155–168. [https://doi.org/10.1016/S0301-4622\(02\)00153-9](https://doi.org/10.1016/S0301-4622(02)00153-9)
- Maddu, A., Santoso, K., Fisika, J., Sains Dan Teknologi, F., Islam Negeri Alauddin Makassar, U., & Artikel, I. (2022). *Karakteristik Sifat Optik Nanopartikel Karbon (Carbon Dots) Dengan Metode Uv-Vis Drs (Ultra Violet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy)*. 9(1), 1–15. <https://doi.org/10.24252/Jft.V9i2.28815>
- Marlina, M., & Putra, A. (2019). Preparation And Characterization Of Activated Carbon From Waste Of Corn Cob (Zea Mays L). *International Jaournal Of Scientific Research And Engineering Development*, 2. www.ijrsred.com
- Nayak, N., & Panda, C. R. (2010). Aluminium Extraction And Leaching Characteristics Of Talcher Thermal Power Station Fly Ash With Sulphuric Acid. *Fuel*, 89(1), 53–58. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.07.019>
- Novitra, R., Aziz, H., & Taer, E. (2022a). 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>
- Nurliana, L., Kasman, F., & Ritonga, H. (2022). Sintesis Metil Ester Sulfonat Dari Minyak Mahoni (Swietenia Mahagoni Linn) Menggunakan Reagen Natrium Bisulfid. *Sains: Jurnal Ilmu Kimia Dan Pendidikan Kimiasains: Jurnal Ilmu Kimia Dan Pendidikan Kimia*, 11(1). <http://ojs.uho.ac.id/index.php/jpkim>

- Nurul Huda, A., Lestari, I., & Hidayat, S. (2022). Pemanfaatan Karbon Aktif Dari Sekam Padi Sebagai Elektroda Superkapasitor. In *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika* (Vol. 06, Issue 02). Penelitian, B., Aek, K., Kehutanan, K., Aek, T., Ilmu, D., Hutan, H., Penelitian, P., & Hutan, H. (2019). *Biji Nyamplung*. 15(1), 17–24.
- Rahmi, F., Muldarisnur, M., & Yetri, Y. (2021). Variasi Konsentrasi Elektrolit H₂so₄ Untuk Pembuatan Karbon Aktif Kulit Buah Kakao Sebagai Elektroda Superkapasitor Dengan Aktivator Zncl₂. *Jurnal Fisika Unand*, 10(4), 467–472. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.4.467-472.2021>
- Ranti, D. S. (2018). *Sintesis Karbon Aktif Terfungsionalisasi Dari Buah Palem Putri (Veitchia Merillii) Dengan Oksidator H₂so₄ Untuk Adsorpsi Cr(Vi)*. Vi, 1–60.
- Sofia, D. R. (2018). *Sintesis Karbon Aktif Terfungsionalisasi Dari Buah Palem Putri (Veitchia Merillii) Dengan Oksidator H₂so₄ Untuk Adsorpsi Cr(Vi)*.
- Studi Teknik Kimia, P., & Teknik Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang Jl Srijaya Negara Bukit Besar, F. (2020). *Pembuatan Karbon Aktif Dari Arang Tongkol Jagung Dengan Variasi Konsentrasi Aktivator Natrium Karbonat (Na₂ Co₃)* (Vol. 5, Issue 1).
- Sukma, V. A., & Sanjaya, H. (2023). Efek Penambahan Diethanolamine Dan Suhu Kalsinasi Terhadap Energi Gap Lapisan Tipis Cusno₃. *Asian Journal Of Science, Technology, Engineering, And Art*, 1(2), 281–294. <https://doi.org/10.58578/ajstea.v1i2.2045>
- Syabila, M., & Khair, M. (2022). *Penurunan Celah Pita Zno Dengan Impregnasinya Pada Karbon Aktif*. 3(1), 2746–7538. <https://doi.org/10.31933/ejpp.v3i1>
- 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>
- Tumimomor, F., Maddu, A., Pari, G., Fisika, J., Universitas, F., Manado, N., Fisika, D., Bogor, P., Penelitian, P., Pengembangan, D., Kehutanan, K., Hasil, P., & Bogor, H. (2017). *Pemanfaatan Karbon Aktif Dari Bambu Sebagai Elektroda Superkapasitor*.
- Wang, G., Zhang, L., & Zhang, J. (2012). A Review Of Electrode Materials For Electrochemical Supercapacitors. *Chemical Society Reviews*, 41(2), 797–828. <https://doi.org/10.1039/C1cs15060j>
- Yu, A., Chabot, V., & Zhang, J. (2017). *Electrochemical Supercapacitors For Energy Storage And Delivery Fundamentals And Applications*.
- Yuda, I. W. W., Ibrahim, F. M. M., Masruroh, M., Ula, N. M., Valiana, V., & Tjahjanto, R. T. (2021). Elektroda Superkapasitor Berbahan Nanokomposit Mno₂/Ac Dari Limbah Plastik Dengan Teknik Elektrodeposisi. *Jurnal Integrasi Proses*, 10(2), 77. <https://doi.org/10.36055/jip.v10i2.12229>
- 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 A Review Of Electrolyte Materials And Compositions For Electrochemical Supercapacitors*.
- Zuleta, M., Björnbom, P., & Lundblad, A. (2005). Effects Of Pore Surface Oxidation On Electrochemical And Mass-Transport Properties Of Nanoporous Carbon. *Journal Of The Electrochemical Society*, 152(2), A270. <https://doi.org/10.1149/1.1843772>