

PEMANFAATAN KARBON AKTIF DARI SEKAM PADI SEBAGAI ELEKTRODA SUPERKAPASITOR

ARYANI NURUL HUDA*, INDRI LESTARI, SAHRUL HIDAYAT

*Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor 45363,
Sumedang, Jawa Barat, Telp. 022-7796014*

**email : aryani18001@mail.unpad.ac.id*

Abstrak. Supercapacitor merupakan terobosan baru di bidang penyimpanan energi, dimana supercapacitor memiliki *power density* yang lebih tinggi dibandingkan baterai dan memiliki *energy density* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kapasitor konvensional. Pada penelitian ini digunakan jenis supercapacitor *Electric Double Layer Capacitor* (EDLC), dimana komponen penyusun supercapacitor EDLC yaitu elektroda, separator dan elektrolit. Salah satu aspek yang mempengaruhi tingkat keefektifan supercapacitor yaitu pemakaian bahan elektroda, disini digunakan elektroda berbahan dasar karbon aktif sekam padi yang dibuat melalui proses dehidrasi, karbonisasi pada suhu 400°C, aktivasi kimia menggunakan activator KOH 30% dan aktivasi fisika pada suhu 800°C dalam aliran gas argon. Hasil analisis FTIR menunjukkan karbon aktif sekam padi memiliki gugus fungsi C=C, C-O dan C-H. Kehadiran gugus fungsi tersebut menunjukkan proses karbonisasi telah terjadi yang ditandai dengan dominannya gugus fungsi yang mengandung karbon. Hasil karakterisasi EDS menunjukkan sampel karbon aktif sekam padi memiliki kandungan karbon sekitar 78% (% atomic). Berdasarkan hasil pengukuran konduktivitas dengan metode *Four Point Probe*, lapisan karbon aktif sekam padi memiliki konduktivitas sebesar $15,31 \times 10^{-2} S.m^{-1}$ untuk sampel karbon aktif sekam padi tanpa CMC $9,51 \times 10^{-2} S.m^{-1}$ untuk sampel dengan CMC 3%. Hasil pengujian pada sel supercapacitor dengan substrat Cu Foil dan elektrolit KOH 2M diperoleh nilai kapasitansi spesifik sebesar 8,56 F/g pada pengujian dengan scanrate 25 mV/s. Jika dianalisis berdasarkan kemampuan menyimpan muatan pada diagram ragone plot, nilai kapasitansi spesifik tersebut telah berada pada rentang nilai untuk divais supercapacitor.

Kata kunci: Supercapacitor, EDLC, karbon aktif, sekam padi, energi

Abstract. Supercapacitors are a new breakthrough in the field of energy storage, where supercapacitors have a higher power density than batteries and have a higher energy density than conventional capacitors. In this research, the electric double layer capacitor (EDLC) supercapacitor is used, where the components of the EDLC supercapacitor are electrodes, separators, and electrolytes. One aspect that affects the effectiveness of the supercapacitor is the use of electrode materials, here used electrodes made from rice husk activated carbon made through a dehydration process, carbonization at 400°C, chemical activation using 30% KOH activator and physical activation at 800°C in argon gas flow. The results of the FTIR analysis showed that the activated carbon of rice husk had C=C, C-O and C-H functional groups. The presence of these functional groups indicates the carbonization process has occurred which is characterized by the dominance of the functional groups containing carbon. The results of the EDS characterization showed that the activated carbon sample of rice husk had a carbon content of about 78% (% atomic). Based on the results of the conductivity measurement using the Four Point Probe method, the activated carbon layer of rice husk has a conductivity of $15,31 \times 10^{-2} S.m^{-1}$ for the sample of activated carbon of rice husk without CMC $9,51 \times 10^{-2} S.m^{-1}$ for samples

with 3% CMC. The test results on supercapacitor cells with Cu Foil substrate and 2M KOH electrolyte obtained a specific capacitance value of 8,56 F/g in the test with a scanrate of 25 mV/s. If analyzed based on the ability to store charge on the ragone plot diagram, the specific capacitance value is already in the range of values for supercapacitor devices.

Keywords: Supercapacitor, EDLC, activated carbon, rice husk, energy

1. Pendahuluan

Berbagai macam kegiatan manusia saat ini selalu menggunakan teknologi yang semakin canggih, seperti laptop dan handphone yang menyebabkan kebutuhan energi juga semakin meningkat. Teknologi tersebut memiliki piranti penyimpanan energi listrik, yang sebagian besar masih menggunakan baterai. Baterai sebagai media penyimpanan energi sangat dibutuhkan pada setiap peralatan yang membutuhkan energi listrik untuk memperpanjang masa penggunaannya. Dalam aplikasinya, baterai memiliki beberapa kelemahan diantaranya waktu pengisian relatif lama dan rapat daya yang dimilikinya kecil [1]. Salah satu alternatif media penyimpanan energi yang dapat mengatasi kelemahan baterai adalah divais Superkapasitor. Superkapasitor merupakan terobosan baru di bidang penyimpanan energi, dimana superkapasitor memiliki *power density* yang lebih tinggi dibandingkan baterai dan memiliki *energy density* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kapasitor konvensional [2]. Keuntungan lain dari superkapasitor yaitu tingkat pengisian yang cepat dan umur siklus pengisian yang panjang [3].

Electric Double Layer Capacitor (EDLC) merupakan salah satu jenis superkapasitor yang memiliki kestabilan siklus yang sangat baik, hal ini karena penyimpanan muatan EDLC terjadi secara elektrostatik dan tidak ada transfer muatan antara elektroda dan elektrolit [1]. Komponen penyusun superkapasitor EDLC yaitu elektroda, separator dan elektrolit. Prinsip kerja dari superkapasitor EDLC ini mengumpulkan muatan-muatan elektron bebas dari hasil penyerapan ion elektrostatik ke permukaan elektroda keping sejajar yang telah dilengkapi elektrolit diantara bahan konduktif pada area permukaan spesifik.

Salah satu aspek yang mempengaruhi tingkat keefektifan superkapasitor yaitu pemakaian bahan elektroda. Karbon merupakan salah satu jenis bahan yang digunakan sebagai bahan elektroda untuk superkapasitor sebab mempunyai luas permukaan spesifik yang tinggi, konduktivitas listrik yang baik serta biaya produksi yang relative murah [4]. Beragam jenis bahan karbon digunakan sebagai bahan elektroda, salah satunya adalah karbon aktif. Karbon aktif adalah material yang paling banyak digunakan sebagai elektroda superkapasitor karena tersedia secara luas, harga yang murah dan metode preparasi yang lebih mudah dibandingkan dengan karbon lainnya [5].

Pada penelitian ini, dibuat suatu elektroda berbahan dasar karbon aktif dari bahan biomassa yang ketersediaannya melimpah di alam, seperti sekam padi. Dasar pemilihan sekam padi disebabkan karena sekam padi memiliki kandungan kimia yang terdiri atas 50 % selulosa, 25 – 30 % lignin, dan 15 – 20 % silika [6]. Selulosa dan lignin merupakan serat alam yang sebagian penyusunnya adalah karbon. Kandungan karbon pada selulosa dan lignin yang dapat dimanfaatkan untuk memperoleh karbon aktif.

Komponen lainnya yang memiliki peranan penting dalam meningkatkan nilai kapasitansi elektroda superkapasitor adalah elektrolit. Pada penelitian Tsay dkk (2012) melakukan pengukuran kapasitansi spesifik dari elektroda dengan elektrolit yang sama namun konsentrasi yang berbeda, dimana hasil kapasitansi spesifiknya memiliki nilai yang berbeda [7]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi elektrolit berpengaruh terhadap nilai kapasitansi spesifik dari superkapasitor. Dengan demikian diperlukan optimasi konsentrasi elektrolit untuk memperoleh kapasitansi spesifik yang tinggi dan umur pakai yang panjang. Elektrolit yang umum digunakan yaitu KOH dan H₂SO₄ karena konduktivitas ionik yang tinggi. Elektrolit KOH dipilih karena termasuk senyawa elektrolit kuat yang ketika dilarutkan di dalam air akan terurai menjadi ion-ion yang memiliki mobilitas ionik tinggi [8].

Berdasarkan paparan diatas, maka akan dilakukan penelitian mengenai superkapasitor dari elektroda berbahan dasar karbon aktif sekam padi untuk mengetahui karakteristik dari superkapasitor dan pada pengujiannya digunakan variasi konsentrasi elektrolit untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai kapasitansi spesifik superkapasitor tersebut.

2. Metode Penelitian

2.1 Pembuatan Karbon Aktif

Sekam padi dicuci dan dibersihkan dengan air suling, lalu dikeringkan dibawah sinar matahari (proses dehidrasi) selama 24 jam. Setelah itu, dipanaskan dengan oven pada suhu 100°C selama 3 jam. Selanjutnya proses karbonisasi dilakukan pada temperatur 400°C selama 2 jam dengan menggunakan furnace. Hasil dari proses karbonisasi ini berupa karbon atau arang. Arang tersebut dihaluskan dengan menggunakan blender dan disaring menggunakan saringan dengan ukuran 200 mesh. Tahap selanjutnya adalah proses aktivasi, dimana proses aktivasi ini terdiri dari dua tahapan yaitu aktivasi kimia dan aktivasi fisika. Pertama sampel karbon diaktivasi secara kimia dengan menggunakan larutan KOH 30% dengan perbandingan 1:5. Campuran karbon dan larutan KOH diaduk dengan pengaduk magnetic sampai tercampur dengan rata, lalu ditutup dengan parafilm dan didiamkan selama 24 jam di suhu 25°C. Sampel yang telah diaktivasi kimia dicuci dengan menggunakan larutan 12 ml HCl 3M yang diencerkan kedalam 100ml aquades. Larutan HCl tersebut dituangkan kedalam sampel sedikit demi sedikit hingga pH netral. Lalu dilakukan penyaringan karbon aktif dari larutan dengan kertas Whatman No.42. Karbon aktif yang sudah terpisah dari larutan selanjutnya dikeringkan pada suhu 100°C selama 3 jam dalam oven. Selanjutnya proses aktivasi fisika dilakukan dengan memanaskan karbon aktif tersebut pada tube furnace dengan suhu 800°C selama 1 jam dengan aliran gas Argon.

2.2 Pembuatan Elektroda

Pembuatan elektroda dilakukan dengan menggunakan teknik spraying (*spray-coating*) menggunakan *airbrush spraying*, dengan Cu-foil sebagai substrat elektroda superkapasitor. Pertama membuat preparasi sampel karbon aktif sekam padi yang akan dijadikan material elektroda. Sebanyak 0.03gram CMC tersebut dilarutkan dalam 10 ml aqua-DM. Kemudian, larutan tersebut diaduk diatas *magnetic stirrer* pada suhu ruangan (25°C) selama 30 menit sampai CMC tersebut larut. Sebanyak 0.97gram karbon aktif dimasukkan kedalam wadah yang berisi

larutan aqua-DM-CMC. Lalu diaduk kembali diatas *magnetic stirrer* pada suhu ruangan (25°C) selama 1 jam. Setelah membuat preparasi sampel, Cu foil yang digunakan sebagai substrat elektroda dibentuk persegi dan di letakkan diatas *hot plate* yang sudah dipanaskan pada suhu 90°C. Sampel yang sudah dipreparasi, dimasukkan kedalam wadah yang terhubung dengan spray. Pompa dinyalakan untuk memberikan tekanan pada spray. Kemudian, sampel dideposisikan dengan metode *spray-coating* pada Cu-foil sampai permukaan Cu-foil tertutup karbon dan perlakuan yang sama dilakukan pada sisi Cu-foil yang lain.

2.3 Karakterisasi

Karbon aktif sekam padi yang dihasilkan di uji menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Scanning Electron Microscopy- Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM/EDS) dan *Four Point Probe* (FPP). Pengujian spektroskopi FTIR digunakan untuk mengetahui gugus fungsi dari karbon aktif sekam padi tersebut. Pengujian SEM dilakukan dengan perbesaran 1000 kali yang bertujuan untuk melihat tampilan morfologi permukaan karbon dari elektroda karbon sedangkan pengujian EDS bertujuan untuk mengetahui komposisi yang terkandung pada permukaan elektroda karbon.

Untuk mengetahui konduktivitas karbon aktif sekam padi tersebut diuji dengan *Four Point Probe* (FPP), dimana pada pengujian FPP didapatkan data tegangan keluaran dan arus masukan. Dari data ini akan diperoleh nilai resistivity dan konduktivitas bahan sampel dengan menggunakan persamaan berikut

$$R = \frac{V}{I} \quad (1)$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi t} \ln(2) \quad (2)$$

$$\rho = \frac{\pi t}{\ln(2)} \times \frac{V}{I} \quad (3)$$

Dimana ρ adalah resistivitas, ketebalan (t), tegangan output (V) dan arus listrik (I). Untuk nilai konduktivitas (σ) didapatkan dari persamaan:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (4)$$

Dan untuk karakterisasi dari superkapasitor dengan elektroda berbahan dasar karbon aktif sekam padi dilakukan dengan pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV). Untuk menghitung nilai kapasitansi spesifik, energi spesifik, dan daya spesifik dari elektroda dapat menggunakan persamaan-persamaan di bawah ini.

$$C_{sp} = \frac{1}{2m \cdot \Delta V \cdot s} \left(\int_{V_1}^{V_2} i \, dV + \int_{V_1}^{V_2} i \, dV \right) \quad (5)$$

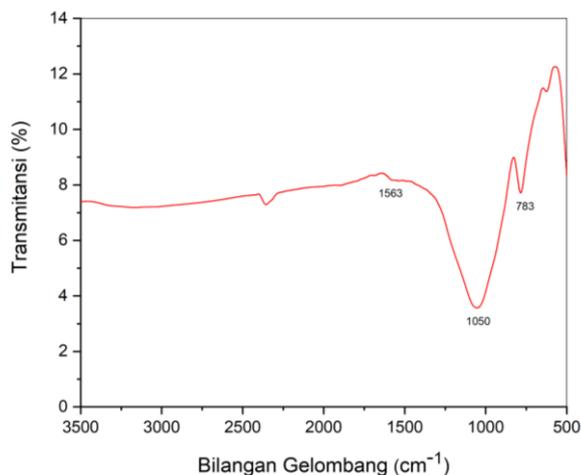
$$E_{sp} = \frac{1}{2} C_{sp} \Delta V^2 \quad (6)$$

$$P_{sp} = \frac{p}{m} \quad (7)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian FTIR

Karakterisasi sampel dengan menggunakan metode spektrofotometri infrared bertujuan untuk menentukan gugus fungsi yang terkandung dalam sampel. Hasil pengujian FTIR dilakukan pada sampel 1 gr karbon aktif sekam padi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pola spectra hasil pengukuran FTIR sampel karbon aktif sekam padi

Berdasarkan Gambar 1 diatas terdapat gugus fungsi yang muncul pada sampel karbon aktif sekam padi tersebut, dimana gugus fungsi tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah.

Tabel 1. Hasil pengukuran FTIR karbon aktif sekam padi

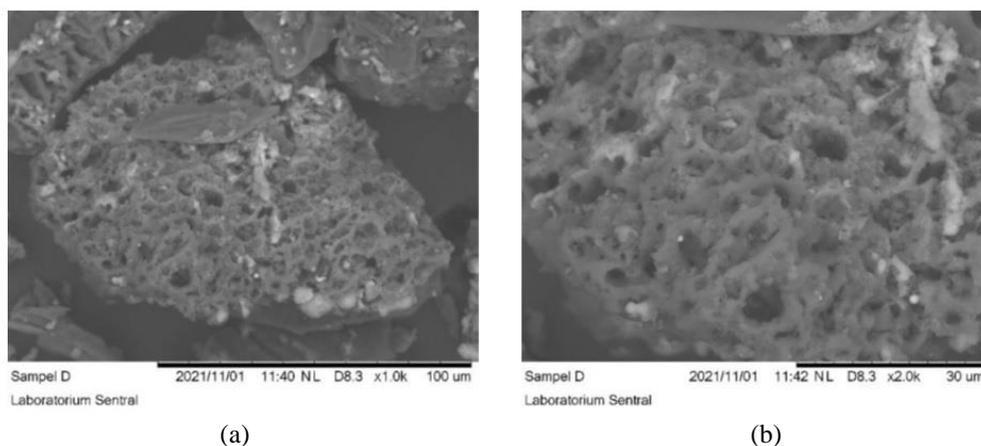
Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Pita Absorpsi	Ikatan Gugus Fungsional
783	675 - 995	C - H
1050	1050 - 1300	C - O
1563	1500 - 1680	C = C

Berdasarkan Gambar 1, spektrum menunjukkan beberapa gugus fungsi dalam sampel. Gugus fungsi yang muncul pada karbon aktif sekam padi ada pada bilangan gelombang 1563 cm⁻¹ yang merupakan puncak yang khas untuk gugus C=C. Kemudian puncak kedua dari sampel tersebut yakni pada serapan 1050 cm⁻¹ yang merupakan gugus fungsi C-O. Puncak ketiga dari sampel tersebut yakni pada serapan 783 cm⁻¹ yang merupakan gugus fungsi C-H. Puncak yang tajam dari sampel tersebut berada pada ikatan gugus C-O. Keberadaan gugus C - O ini berarti bahwa C nya itu tidak murni membentuk ikatan karbon tetapi masih ada lengan-lengan yang mengikat O sehingga membentuk ikatan oksigen.

3.2 Pengujian SEM-EDS

Pengujian morfologi dari karbon aktif sekam padi dilakukan dengan menggunakan alat SEM yang dilengkapi dengan EDS untuk mengetahui unsur maupun senyawa – senyawa yang terkandung dari material tersebut. Pengujian SEM dilakukan pada perbesaran 1000x dan 2000x, dimana hasilnya terlihat pada Gambar 2. Pada

Gambar 2 tampak permukaan arang aktif sekam padi banyak mengandung pori yang berkontribusi pada peningkatan luas permukaan spesifik karbon. Pori-pori juga berkontribusi terhadap interkalasi ion-ion elektrolit ke bagian dalam dari material karbon aktif. Semakin besar luas permukaan spesifik karbon aktif akan semakin tinggi juga kapasitas muatan divais superkapasitor.



Gambar 2. Mikrograf SEM sekam padi (a) dengan perbesaran 1000x (b) dengan perbesaran 2000x

Selain dapat melihat pori yang terbentuk, dapat juga mengetahui kandungan unsur yang terdapat pada sampel arang sekam padi yang di uji dengan istilah lainnya EDS. Hasil dari EDS dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Persentase kandungan unsur karbon aktif sekam padi

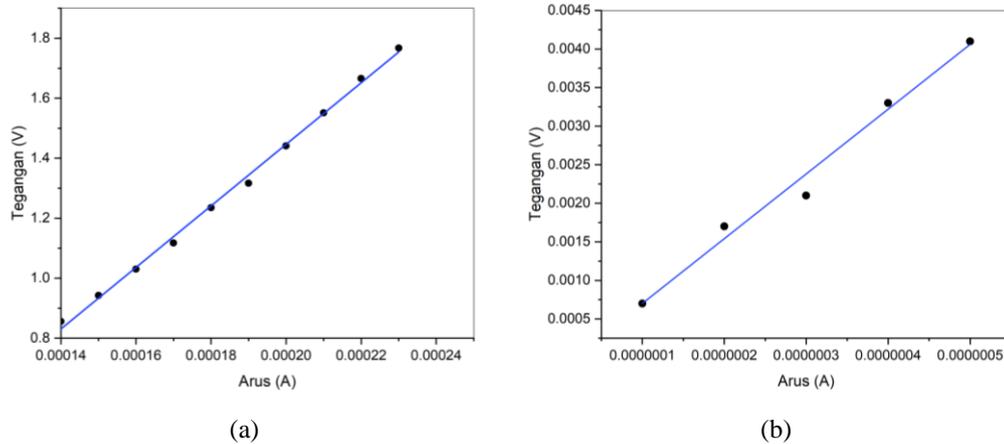
Unsur	Massa (%)	Atom (%)
C	70,91	78,44
O	21,83	18,13
Si	7,26	3,43
Total	100	100

Pada Tabel 2 terlihat bahwa besarnya persentase massa unsur karbon (C) pada karbon aktif sekam padi yaitu 70,91% dengan persentase atomik yaitu 78,44%. Sehingga unsur karbon pada karbon aktif sekam padi memiliki nilai yang cukup untuk dijadikan bahan dasar pembuatan elektroda pada superkapasitor. Kemudian dalam kandungan karbon aktif sekam padi memiliki kandungan oksigen yang masih cukup tinggi dengan persentase massa unsur oksigen (O) pada karbon aktif sekam padi yaitu 21,83% dengan persentase atomik 18,22% dan juga terdapat kandungan silika (Si) yaitu 7,26% dengan persentase atomik yaitu 3,43%.

3.3 Hasil Pengukuran Konduktivitas

Konduktivitas suatu bahan adalah kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Pengujian konduktivitas listrik dengan menggunakan metode FPP. Pengujian ini dilakukan pada sampel karbon aktif sekam padi tanpa CMC dan dengan CMC 3%. Pengukuran konduktivitas dilakukan dengan menghubungkan alat *four-point probe* ke sumber arus dan multimeter. Kemudian probe tersebut

diturunkan sehingga menyentuh permukaan sampel. Setelah itu arus dialirkan dan diamati nilai tegangan pada multimeter dari variasi perubahan arus yang diberikan. Gambar 3 dibawah ini merupakan grafik tegangan output terhadap arus input yang dihasilkan dari pengujian.



Gambar 3. Grafik tegangan terhadap arus karbon aktif sekam padi (a) tanpa CMC (b) dengan CMC 3%

Gambar 3 menunjukkan grafik kelinieran hubungan tegangan output dan arus input. Kelinieran ini menunjukkan bahwa tegangan berbanding lurus dengan arus sesuai dengan Hukum Ohm. Pada grafik diatas terlihat bahwa adanya ketidaklinieran antara tegangan output dan arus input yang dihasilkan, hal ini dikarenakan sampel yang dibuat tidak terlalu homongen. Dari data tegangan output dan arus input yang dihasilkan tersebut dengan menggunakan persamaan (3) dan (4) maka akan diperoleh nilai konduktivitas dan resistivitas. Pada tabel 3 menunjukkan nilai konduktivitas dan resistivitas pada sampel yang diuji.

Tabel 3. Konduktivitas listrik karbon aktif

Sampel	Ketebalan (m)	$\bar{\rho}$ (ohm)	$\bar{\sigma}$ (S/m)
Karbon aktif Tanpa CMC	0,00021	6,57	$15,31 \times 10^{-2}$
Karbon aktif dengan CMC 3%	0,0003	10,59	$9,51 \times 10^{-2}$

Pada tabel 3 menunjukkan bahwa konduktivitas dari karbon aktif sekam padi tanpa CMC sebesar $15,31 \times 10^{-2} S.m^{-1}$ dengan deviasi rata-rata $1 \times 10^{-2} S.m^{-1}$. Nilai konduktivitas karbon aktif sekam padi tersebut terletak pada nilai $10^{-8} S.m^{-1}$ sampai $10^3 S.m^{-1}$ yang merupakan daerah nilai dari material semikonduktor. Hasil ini menunjukkan bahwa konduktivitas karbon aktif sekam padi ini masih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian Wang et al. (2011) tentang carbon black dari sekam padi dengan konduktivitas $21,6 S.m^{-1}$ [9]. Masih rendahnya konduktivitas yang dihasilkan dikarenakan masih tingginya kadar abu dan juga silika yang memiliki sifat isolatif listrik.

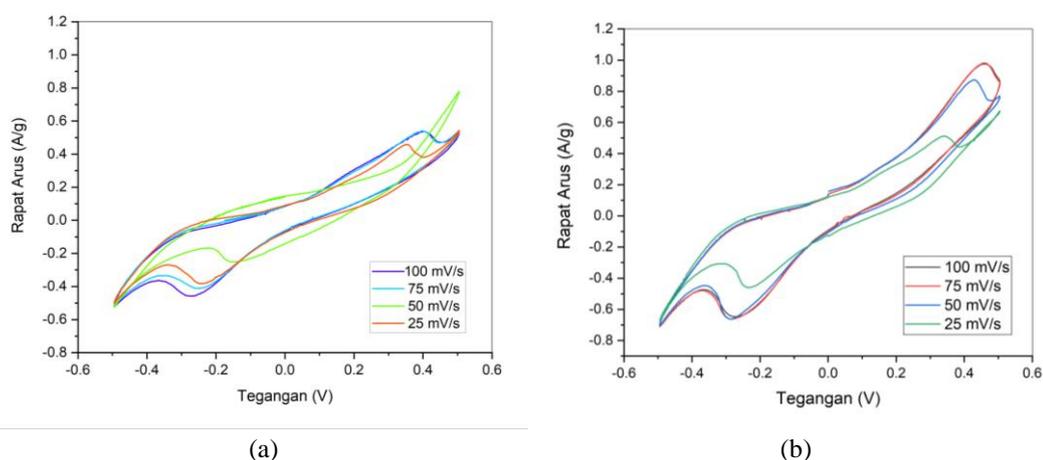
Untuk hasil konduktivitas dengan CMC 3% terlihat pada Tabel 3 didapatkan sebesar $9,51 \times 10^{-2} S.m^{-1}$ dengan deviasi rata-rata $0,8 \times 10^{-2} S.m^{-1}$ hasil ini

masih berada pada material semikonduktor. CMC (*Carboxymethyl Cellulose*) merupakan turunan dari molekul selulosa dengan asam hidroksi-asetat yang berperan sebagai binder atau perekat [10]. Hasil nilai konduktivitas listrik yang didapatkan dengan menggunakan CMC 3% ini mengalami penurunan dibandingkan dengan tanpa CMC. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh CMC yang memiliki sifat listrik yang kurang baik karena termasuk kedalam jenis isolator [11]. Selain itu, CMC juga dapat menutupi pori-pori material karbon aktif yang dapat meningkatkan resistansi elektroda. Sehingga mengakibatkan konduktivitas listrik karbon aktif akan berkurang. Penambahan CMC dapat meningkatkan daya rekat material elektroda terhadap substrat menjadi tidak mudah mengelupas.

3.4 Hasil Pengujian Cyclic Voltametry

Elektroda karbon aktif sekam padi diukur nilai kapasitansi spesifik penyimpanan energinya dengan menggunakan *cyclic voltammetry* (CV). Pengukuran CV ini menggunakan dua elektroda karbon aktif sekam padi yang disusun secara simetris yang direndam dalam larutan elektrolit. Elektrolit yang digunakan pada pengujian ini adalah larutan KOH dengan konsentrasi elektrolit 1M dan 2M. Pengukuran dengan metode *cyclic voltammetry* (CV) ini berdasarkan variasi tegangan awal dan tegangan akhir, dimana rentang tegangan yang digunakan pada penelitian ini dari -0,5 V sampai 0,5 V. Respon arus meningkat pada rentang kenaikan tegangan -0,5 V sampai 0,5 V dan respon arus menurun pada rentang tegangan 0,5 V sampai -0,5 V, sehingga dihasilkan kurva berbentuk hysteresis. Kurva hysteresis ini menunjukkan adanya muatan yang tersimpan pada elektroda, dimana semakin lebar bentuk kurvanya maka nilai kapasitansi yang dihasilkan akan semakin besar [12].

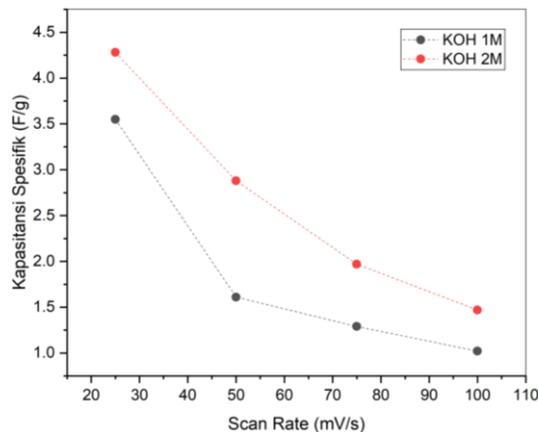
Pengujian CV dilakukan dengan variasi scan rate yang bertujuan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai kapasitansi spesifik dari superkapasitor. *Scan rate* yang digunakan pada penelitian ini yaitu 25 mV/s, 50 mV/s, 75 mV/s dan 100 mV/s. Gambar 4 berikut merupakan grafik hasil pengukuran CV dengan variasi *scan rate*.



Gambar 4. Kurva CV (a) dengan elektrolit KOH 1M (b) dengan elektrolit KOH 2M

Gambar 4 tersebut menunjukkan bahwa *scan rate* mempengaruhi luas daerah kurva hysteresis CV yang dihasilkan. Dimana terlihat dari perbandingan kurva dengan *scan rate* 100 mV/s lebih luas dibandingkan dengan kurva *scan rate* 25mV/s untuk

elektrolit KOH 2M, dengan demikian semakin besar *scan rate* maka akan semakin besar pula luas area kurva histeresis yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan ketika pengukuran menggunakan *scan rate* yang tinggi maka akan memberikan respon arus yang semakin besar dan memberikan pengaruh terhadap kecepatan transport dan separasi ion, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mengukur satu siklus akan cukup singkat. Sedangkan ketika menggunakan *scan rate* yang lebih rendah maka respon arus akan semakin kecil yang menyebabkan pengukuran satu siklus akan membutuhkan waktu yang cukup lama dibandingkan dengan *scan rate* yang tinggi. Karena *scan rate* mempengaruhi luas kurva hysteresis, maka akan mempengaruhi juga nilai kapasitansi yang dihasilkan. Berikut grafik nilai kapasitansi yang dihasilkan terhadap *scan rate*.



Gambar 5. Korelasi kapasitansi spesifik terhadap *scan rate*

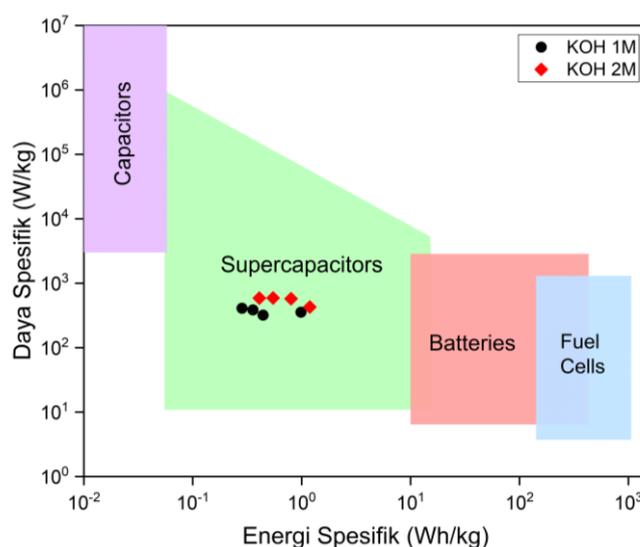
Dari Gambar 5 diatas terlihat bahwa nilai kapasitansi berbanding terbalik dengan *scan rate*, dimana semakin besar *scan rate* maka nilai kapasitansinya akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan *scan rate* yang besar memiliki waktu satu siklus lebih cepat sehingga akumulasi ion-ion elektrolit yang melekat pada permukaan elektroda menjadi lebih sedikit. Sedangkan jika *scan rate* kecil yang memiliki waktu satu siklus lebih lambat maka akumulasi ion-ion elektrolit yang melekat pada permukaan elektroda akan semakin banyak.

Selain *scan rate*, terlihat pada Gambar 4a dan 4b bahwa elektrolit KOH 2M memiliki kurva yang lebih luas dibandingkan dengan KOH 1M, sehingga konsentrasi KOH mempengaruhi besarnya bentuk kurva yang dihasilkan. Dimana semakin lebar bentuk kurva arus charge dan discharge yang dihasilkan maka semakin besar pula nilai kapasitansi spesifik yang didapatkan, terlihat pada Gambar 5. Nilai kapasitansi spesifik konsentrasi KOH 2 M terlihat pada Gambar 5 diatas lebih besar dibandingkan nilai kapasitansi spesifik konsentrasi KOH 1M. Penambahan konsentrasi KOH ini mempengaruhi nilai kapasitansi spesifik yang didapatkan, hal ini dikarenakan larutan KOH 2 M akan memberikan konsentrasi OH⁻ yang lebih banyak dalam proses transfer ion yang terjadi pada permukaan elektroda dibandingkan dengan larutan KOH 1 M. Maka muatan yang tersimpan pada divais superkapasitor akan semakin besar seiring dengan meningkatnya konsentrasi elektrolit yang digunakan.

Hasil pengukuran CV ini dapat ditentukan nilai energi spesifik dan daya spesifik dengan menggunakan persamaan (5), (6) dan (7). Tabel 4 menampilkan hasil perhitungan dari kurva CV diperoleh karakteristik superkapasitor dengan elektroda karbon aktif sekam padi.

Tabel 4. Konduktivitas listrik karbon aktif

Konsentrasi Elektrolit	Scan rate	Massa (g)	Kapasitansi Spesifik (F/g)	Energi Spesifik (Wh/kg)	Daya Spesifik (W/kg)
1 M	25	0,0025	7,1	0,986	355,06
	50		3,19	0,443	319,26
	75		2,57	0,357	385,78
	100		2,04	0,284	408,74
2 M	25	0,0025	8,56	1,189	428,05
	50		5,76	0,80	576,21
	75		3,94	0,548	591,60
	100		2,95	0,409	588,91



Gambar 6. Ragone plot superkapasitor elektroda karbon aktif sekam padi

Gambar 6 diatas menunjukkan performa superkapasitor yang disebut juga dengan “Ragone Plot”. Ragon plot merupakan grafik yang menggambarkan spesifikasi divais penyimpanan muatan listrik secara teoritik. Pada grafik tersebut tampak bahwa Baterai dan Fuel Cells memiliki Energi Spesifik yang tinggi dibanding Superkapasitor dan Kapasitor. Sedangkan Kapasitor dan Superkapasitor cenderung memiliki daya spesifik yang tinggi. Berdasarkan ragone plot tersebut terlihat bahwa hasil nilai energi spesifik dan daya spesifik yang dihasilkan superkapasitor dengan elektroda karbon aktif sekam padi tersebut berada pada daerah karakteristik superkapasitor.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa karbon aktif sekam padi dari analisis FTIR mengandung gugus fungsi C=C, C-O dan C-H. Dimana gugus fungsi tersebut menunjukkan bahwa sampel karbon aktif sekam padi tersebut didominasi oleh ikatan karbon. Berdasarkan hasil pengujian EDS diperoleh kandungan karbon tertinggi sebesar 70,91% (% massa) dan 78,44% (% atomik). Hasil pengukuran konduktivitas terhadap sampel elektroda karbon aktif sekam padi diperoleh nilai sebesar $15,31 \times 10^{-2} S.m^{-1}$ untuk sampel karbon aktif sekam padi tanpa CMC dan $9,51 \times 10^{-2} S.m^{-1}$ untuk sampel yang menggunakan CMC 3%. Dan untuk mengetahui karakteristik dari superkapasitor dengan elektroda berbahan dasar karbon aktif sekam padi dilakukan analisis dengan menggunakan CV, dimana dihasilkan nilai kapasitansi spesifik paling tinggi sebesar 8,56 F/g pada perlakuan elektrolit KOH 2M dan scanrate 25mV/s. Kapasitansi spesifik tersebut dipengaruhi oleh konsentrasi elektrolit dan nilai *scan rate*. Naiknya nilai konsentrasi elektrolit cenderung meningkatkan nilai kapasitansi sedangkan naiknya *scan rate* cenderung menurunkan nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan. Berdasarkan grafik pada ragon plot, nilai kapasitansi spesifik yang diperoleh pada penelitian ini telah berada pada rentang energi spesifik yang dimiliki oleh divais Superkapasitor.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah membiayai Penelitian ini melalui Hibah Penelitian Dasar Kontrak No. 2064/UN6.3.1/PT.00/2022, tanggal 17 Maret 2022.

Daftar Pustaka

1. D. A. Safitri, "Analisa Pengaruh Doping Nitrogen Terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor Berbahan Graphene," 2017.
2. I. Sitohang and Anggia, "Pembuatan Dan Pengujian Elektroda Superkapasitor Berbasis Graphene Dengan Metode Charging-Discharging," *Orphanet J. Rare Dis.*, vol. 21, no. 1, pp. 1–9, 2020.
3. Zuleta, Bjornbom, and Lundblad, "Effects of Pore Surface Oxidation on Electrochemical and Mass-Transport Properties of Nanoporous Carbon. Journal of The Electrochemical," *Society*, vol. 152, pp. 270-276., 2005.
4. F. Tumimomor, A. Maddu, and G. Pari, "Utilization of Bamboo Based Activated Carbon As Supercapacitor Electrode," *J. Ilm. Sains Vol.*, vol. 17, no. 1, pp. 73–79, 2017.
5. K. Natalia and E. Taer, "PENGARUH SUHU AKTIVASI TERHADAP SIFAT FISIS DAN ELEKTROKIMIA ELEKTRODA SUPERKAPASITOR DARI LIMBAH DAUN AKASIA (*Acacia mangium* Wild)," *Komun. Fis. Indones.*, vol. 16, no. 2, p. 81, 2019, doi: 10.31258/jkfi.16.2.81-86.
6. D. Sipahutar, "Teknologi Briket Sekam Padi," *Balai Pengkaj. Teknol. Pertan.*, vol. 0761, no. 341, 2017.
7. K. C. Tsay, L. Zhang, and J. Zhang, "Effects of Electrode Layer ompo i ion Thickne and lec oly e oncen a ion on Bo h pecific Capacitance and Energy Density of Supercapacitor," *Electrochim. Acta*, vol. 60, pp. 428–436, 2012.

8. M. Ena, "Pengaruh Variasi Larutan Elektrolit Terhadap Produksi Brown's Gas," *J. Tek. Mesin Univ. Islam Malang*, vol. 17, no. 2, p. 10, 2016.
9. L. Wang, Z. Schnepf, and M. M. Titirici, "Rice husk-derived carbon anodes for lithium ion batteries," *J. Mater. Chem.*, vol. A, 17, pp. 5269–5273, 2013.
10. A. Metodiev, "Electric Properties of Carboxymethyl Cellulose," in *Cellulose - Fundamental Aspects*, 2013.
11. E. Sundari, "Penyediaan hydrogel aluminium battery berbasis carboxymethyl cellulose dengan elektrolit jeruk nipis," 2021.
12. E. Taer, S. Zulkifli, R. Syech, and R. Taslim, "Analisis Siklis Voltametri Superkapasitor Menggunakan Elektroda Karbon Aktif dari Kayu Karet Berdasarkan Variasi Aktivator KOH," *J. Fis. dan Apl.*, vol. 4, pp. 105–110, 2015.