

---

**REVIEW: SUPERKAPASITOR BERBAHAN DASAR KARBON AKTIF DAN  
LARUTAN IONIK SEBAGAI ELEKTROLIT**

**REVIEW: SUPERKAPASITOR BASED ON ACTIVATED CARBON AND  
IONIC SOLUTION AS ELECTROLYTE**

Olly Norita Tetra, Hermansyah Aziz, Emriadi, Sanusi Ibrahim, Admin Alif

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas  
Kampus Limau Manis Padang 25613

\*E-mail Korespondensi: [olly512@yahoo.com](mailto:olly512@yahoo.com)

**Abstrak**

Elektroda superkapasitor berbahan dasar karbon aktif memberikan daya dan kinerja energi yang tinggi karena luas permukaan yang tinggi, konduktivitas tinggi, dan kemampuan untuk menfungsikan karbon aktif dalam mengoptimalkan sifat superkapasitornya. Pada artikel ini juga dilaporkan tentang pembuatan superkapasitor dengan memanfaatkan karbon aktif dari berbagai biomassa sebagai bahan elektroda dan kinerja superkapasitor dibandingkan dengan baterai. Metoda aktivasi, jenis aktivator, jenis elektrolit, proses karbonasi atau pirolisis yang digunakan akan menentukan dalam daya dan kerapatan energi yang dihasilkan oleh superkapasitor. Dalam hal ini juga ditinjau proses pembentukan lapisan rangkap listrik pada permukaan elektroda dan pengaruh jenis elektrolit yang digunakan terhadap kinerja superkapasitor. Penggunaan elektrolit organik ternyata dapat meningkatkan performa dari superkapasitor namun dalam segi ekologi penggunaan pelarut asetonitril tidak baik untuk lingkungan.

Kata kunci : *aktivasi, elektrolit, karbon aktif, kapasitansi, superkapasitor*

**Abstract**

The supercapacitor electrode with an active carbon base material is reported to have high power density and energy performance due to its high surface area, high conductivity, and the ability to function activated carbon in optimizing its super-capacitor properties. In this article also reported about the manufacture of supercapacitors by utilizing the activated carbon from various biomass as electrode material and the performance of supercapacitor compared with battery. The activation method, the type of activator, the type of electrolyte, the carbonation or pyrolysis process used will determine in the energy and energy density generated by the supercapacitor. In this case also reviewed the process of electric double layer formation on the electrode surface and the influence of the type of electrolyte used to the performance of superkapasitor. The use of organic electrolytes can improve the performance of the supercapacitor but in terms of ecology the use of acetonitrile solvent is not good for the environment.

Keywords: *activation, electrolytes, active carbon, capacitance, supercapacitors*

**PENDAHULUAN**

Karbon aktif banyak digunakan dalam berbagai aplikasi elektrokimia salah satunya adalah sebagai bahan elektroda. Hal ini dikarenakan harga yang murah, bahan dasar yang mudah didapat dari berbagai jenis bahan alam, mudah dalam mensintesa, bisa di peroleh dalam bentuk bubuk, fiber/serat, dan komposit, luas permukaan yang besar dan porinya yang bisa diatur. Elektroda karbon mudah terpolarisasi, stabil dalam larutan yang berbeda (asam, basa dan aprotik) dan stabil dalam rentang temperatur

tertentu. (Marsh, 2006 dan Frackowiak dkk, 2006)

Penggunaan bahan biomassa untuk dijadikan karbon menjadi perhatian saat ini karena mempunyai beberapa keuntungan secara ekonomi, lingkungan dan sosial.(Pari dkk, 2014) Beberapa material elektroda berbahan dasar karbon dari biomassa yang juga merupakan limbah telah dilaporkan seperti ampas kacang (Teng dkk, 2016), ampas kopi (Kamikuri dkk, 2014), limbah cangkang sawit (Aziz dkk, 2016), keramik lantai (Tetra dkk, 2016), biji karet (Tetra

dkk, 2015) tepung singkong dan tapioka (Pari dkk, 2014), sekam padi (Luong Thi dkk, 2014). Precursor selain dari biomassa juga pernah dilaporkan dari limbah papan sirkuit cetak monitor (Rajagopal dkk, 2016) dan dari membran keramik yang didoping dengan titania (Tetra dkk, 2016)

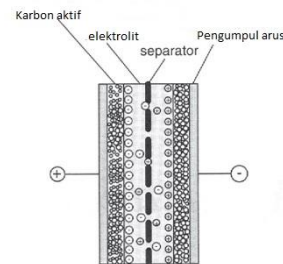
Berbagai karbon berpori lain juga telah dikembangkan sebagai superkapasitor, misal karbon airogel (Liu dkk, 2013), yang terdiri dari partikel nanoskala yang berasal dari pirolisis polimer aerogel dan resin turunan karbon, karbon nanotube, jaringan karbon berpori (Zhang dkk. (2017), graphene (Indah Sari dan Ming Ting, 2016). Bagaimanapun prosesnya sangat mahal, sulit dan lebih cenderung alat-alatnya terkorosi sehingga pemanfaatan karbon dengan precursor dari biomassa merupakan pilihan yang terbaik dan lebih ramah lingkungan.

Sifat-sifat material karbon sangat kuat dipengaruhi oleh metoda pembuatannya, dengan demikian pemilihan prosedur sintesis, jenis precursor, jenis aktivator, laju pemanasan dan temperatur pembakaran atau pirolisis memberikan kemudahan dalam mengontrol produk akhirnya/karbon berpori tapi juga bisa mendesign jenis karbon yang ditargetkan. Karbon aktif mempunyai distribusi ukuran pori yang luas dalam rentang micropori-mesopori (0-50 nm). Beberapa penelitian melaporkan bahwa karbon mesopori banyak digunakan sebagai bahan elektroda terutama dalam superkapasitor. (Fuertes dkk, 2004) Material karbon mempunyai luas permukaan spesifik yang besar sehingga struktur porinya juga bisa dimanfaatkan terutama memudahkan dalam pembentukan lapisan rangkap listrik pada permukaan elektroda. Tujuan dari penelitian ini adalah pemanfaatan karbon aktif sebagai bahan elektroda supercapacitor dan penggunaan elektrolit sebagai sumber muatan pada proses transfer muatan yang terjadi di antarmuka elektroda.

## METODE PENELITIAN

Superkapasitor adalah perangkat penyimpan energi yang mirip dengan baterai. Tidak seperti baterai, yang menggunakan reaksi kimia untuk menyimpan energi, superkapasitor umumnya menyimpan energi melalui pemisahan muatan listrik secara fisika. Supercapacitors didasarkan pada teknologi carbon (nanotube). Teknologi karbon yang digunakan pada kapasitor ini menciptakan area permukaan yang sangat besar dengan jarak pemisah yang sangat kecil. Semua superkapasitor terdiri dari dua elektroda

yang direndam dalam larutan konduktif atau polimer konduktif yang disebut elektrolit. Elektroda dipisahkan oleh pemisah/separator berbahan dielektrik yang bukan hanya untuk mencegah agar tidak terjadi tumpang tindih muatan pada kedua elektroda tetapi juga memiliki sifat listrik yang mempengaruhi kinerja superkapasitor. Rangkaian superkapasitor seperti pada Gambar 1. (Syarif, 2014).



Gambar 1. Rangkaian superkapasitor secara umum

Komponen utama dari rangkaian superkapasitor adalah (Vuorilehto & Nuutinen, 2014)

- Aluminium tipis/aluminium foil yang dilekatkan dengan elektroda, aluminium foil ini juga berfungsi sebagai pengumpul arus/current collector
- Elektroda adalah elektroda yang berupa karbon dengan luas permukaan yang tinggi dan bersifat konduktif dan ditambahkan binder atau perekat, sehingga bila muatan listrik dihubungkan pada material, medan listrik yang dihasilkan berfungsi seperti dielektrik yang membentuk lapisan ganda listrik dimana ketebalan lapisan ganda listrik tersebut setipis molekul. Luas permukaan lapisan karbon aktif adalah sangat besar yang menghasilkan beberapa ribu meter persegi per gram. Luas permukaan yang besar ini memungkinkan penyerapan sejumlah besar ion. Pengisian / pengosongan terjadi dalam lapisan absorpsi ion yang terbentuk pada elektroda karbon aktif
- Separator/pemisah, bisa berupa plastik atau kertas yang direndam dengan elektrolit cair

Bila potensial listrik diterapkan pada kedua elektroda, maka terjadi perbedaan potensial pada antarmuka elektroda-elektrolit. Pada antarmuka elektrostatik ini terdiri dari lapisan ganda antara ion dalam elektrolit dan muatan elektronik pada elektroda. Pada supercapacitors, penyimpanan energi disebabkan oleh pemisahan muatan elektronik dan ion pada antarmuka antara

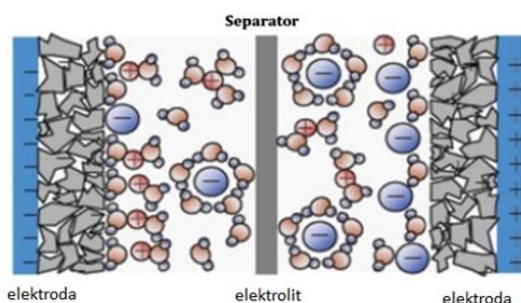
elektroda aktif permukaan-permukaan yang tinggi dan larutan elektrolit.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Teknologi Superkapasitor

Superkapasitor disebut juga sebagai kapasitor elektrokimia lapis rangkap listrik, adalah perangkat penyimpan energi secara elektrokimia yang berperan dalam memenuhi kebutuhan energi listrik saat ini. Berbeda dengan baterai, superkapasitor dapat memberikan rapat daya (>10kWhkg<sup>-1</sup>) dengan proses pengisian dan pengosongan muatan yang cepat dan tingkat kestabilan yang tinggi (>10<sup>6</sup> siklus). (Vangari M dkk, 2012). Komponen utama dari superkapasitor adalah permukaan elektroda yang luas, elektrolit yang memberikan muatan ion, dan separator sebagai pemisah antara permukaan elektroda yang meningkatkan nilai kapasitansi. Superkapasitor menggunakan lapisan rangkap listrik pada antarmuka elektroda /elektrolit dimana terjadi akumulasi ion pada permukaan elektroda karena adanya tarikan elektrostatis. Performan dari superkapasitor berbahan dasar karbon aktif sebagai bahan elektroda di berikan pada Gambar 2. (Zhou dkk, 2013) Luas permukaan yang tinggi, memberikan nilai kapasitansi yang tinggi juga jika semua pori dapat diakses oleh ion dan material karbon mempunyai tingkat kebasahan yang baik.(Frackowiak E, 2006).

Bahan yang paling umum digunakan dalam supercapacitors berskala komersial adalah karbon aktif. Karbon aktif sangat murah dan berasal dari berbagai sumber yang tersedia (seperti sekam padi, tempurung kelapa, cangkang sawit dan lain lain). Karbon aktif mempunyai luas permukaan yang tinggi, porositas tinggi yang terbuat dari cincin heksagonal kecil yang disusun menjadi lembaran graphene. Lembaran ini dapat diproduksi dengan berbagai metode pengolahan yang menghasilkan distribusi dan orientasi ukuran pori yang bervariasi.Kapasitansi dari lapisan ganda dapat dilihat sebagai jumlah dari masing-masing kapasitansi.(Boyea dkk, 2007)



Gambar 2. Performance sel dari superkapasitor

Setiap elektroda dapat diperlakukan sebagai kapasitor tunggal ( $C_1$ ) dan ( $C_2$ ) dan kapasitansi total akan bergantung pada elektroda dengan nilai yang lebih kecil sesuai persamaan:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Peningkatan voltase kapasitor (U) menyebabkan peningkatan daya yang signifikan (P) dan energi (E) karena ketergantungan berikut (di mana  $R_s$  singkatan dari resistansi seri):

$$E = \frac{1}{2} CU^2 \quad \text{dan} \quad P = \frac{U^2}{4R_s}$$

Pada umumnya dalam larutan elektrolitik berair tegangan kapasitor tidak dapat melebihi 1 V, elektrolit organik dapat larut dalam air dan memberikan energi dan daya yang lebih tinggi. Hanya saja larutan organik bahan dasar utamanya acetonitril mempunyai konduktivitas yang rendah sehingga kadang menurunkan nilai kapasitansi.

Berdasarkan jenis elektroda dan sifat elektrokimia, superkapasitor dibagi atas 3 jenis.

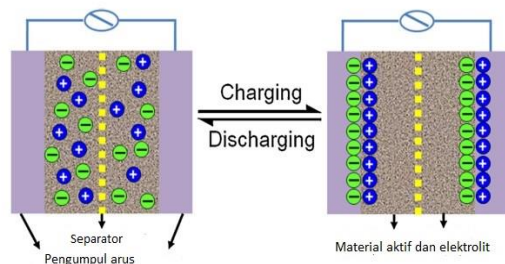
i). Electrochemical double layer capacitor (EDLC) menggunakan luas permukaan yang besar dari bahan elektroda seperti karbon aktif dan turunannya untuk menyediakan penyimpanan muatan pada lapis rangkap listrik untuk mencapai pemisahan muatan pada lapisan lapisan rangkap Helmholtz dan lapisan difusi pada antar muka antara elektroda dan elektrolit. EDLC umumnya mempunyai rapat dan daya yang tinggi dan siklus hidup yang lebih lama.

ii). Pseudokapasitor, menggunakan elektroda sebagai pengisian logam oksida transisi atau polimer konduktif yang memberikan reaksi redoks pseudo-kapasitansi.Pseudo-kapasitansi datang dari transfer muatan Faradai karena reaksi redoks yang reversibel atau sorpsi/desorpsi elektrokimia, Keuntungannya tipe ini memberikan kapasitansi spesifik yang besar, rapat energy dan daya yang relatif tinggi namun waktu hidup yang lebih pendek.

iii). Superkapasitor asimaterik atau hibrid superkapasitor, yang mana dirangkai dari dua elektroda yang tidak sama dan dilengkapi dengan potensial kerja. (Rajkumar M dkk, 2015)

Material elektroda utama untuk kapasitor adalah karbon aktif (AC) tapi tidak mudah untuk mengontrol porositasnya, ukuran pori, dan perbandingan mikro/meso. Prinsip penyimpana energi pada superkapasitor adalah akumulasi muatan elektrostatis pada antarmuka elektroda

dan elektrolite seperti pada Gambar 3. (Chen dan Dai Liming, 2013)

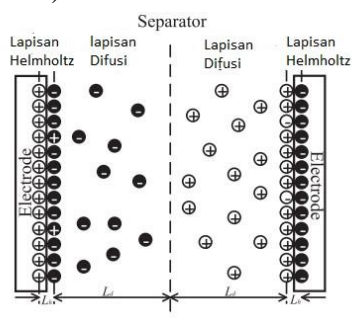


Gambar 3. Skema proses charging/discharging dalam superkapasitor.

### Elektrokimia Superkapasitor

Helmholtz menemukan fenomena lapis rangkap listrik secara elektrokimia dan meng gambarkannya dengan menggunakan model di mana diasumsikan semua ion teradsorpsi pada permukaan elektroda. Ini identik dengan dielektrik secara konvensional dari struktur kapasitor. Gouy dan Chapman selanjutnya memodifikasi Model Helmholtz dengan memperhitungkan pergerakan ion dalam elektrolit sebagai solusi dari hasil dari kekuatan difusi dan kekuatan elektrostatik.

Persamaan distribusi Boltzmann dimasukkan untuk menggambarkan secara analitis hubungan antara konsentrasi ion dan potensial listrik lokal dilapisan difusi. Stern menggabungkan model Helmholtz dan Model Gouy-Chapman, dan membagi lapis rangkap listrik menjadi dua karakter lapisan yang berbeda, yaitu lapisan Stern (lapisan Helmholtz) dan penggunaan lapisan difusi (Lapisan Gouy-Chapman), seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Lapisan Stern menjelaskan penyerapan ion secara spesifik pada permukaan elektroda, sedangkan lapisan menggunakan menggunakan model Gouy-Chapman. Total kapasitansi lapis rangkap listrik dapat diperlakukan sebagai lapisan Stern dan difusi menggunakan kapasitansi lapisan yang dihubungkan secara seri. (Conway, 1999 dan Simon, 2008)



Gambar 4. Model Lapis rangkap Listrik dari Gouy-Chapman-Stern

### Karbon Aktif Sebagai Bahan Elektroda Superkapasitor

Material karbon aktif pada elektroda superkapasitor dapat dibuat melalui dua proses yaitu karbonasi dan diikuti dengan aktivasi. Pirolisis terjadi pada gas iner seperti nitrogen dan argon. Aktivasi biasanya didapatkan melalui proses pada temperatur tinggi dan melibatkan aktivator seperti KOH, NaOH,  $ZnCl_2$ , dan  $H_3PO_4$ . Mekanisme untuk aktivasi ini berbeda, dengan  $ZnCl_2$  lebih mengutamakan ekstraksi dari molekul air dari struktur lignisellulosa, asam pospat mengkombinasikan secara kimia struktur lignosellulosanya. Mekanisme dengan KOH adalah mengaktifkan karbon yang ada lebih kompleks dan melibatkan disintegrasi struktur yang diikuti dengan interkalasi dari gas oksigen dari gugushidroksida. (Marsh dkk, 2006). Beberapa peneliti melaporkan bahwa KOH sebagai aktivator dapat meningkatkan porositas serat karbon, karbon nanotube, dan graphene dan dapat memperbaiki performance dari superkapasitor namun ini tergantung kepada asal biomasanya (Peng dkk, 2013). Selain dari jenis aktivator, ukuran partikel dari karbon aktif yang digunakan sebagai elektroda superkapasitor juga mempengaruhi nilai kapasitansinya, seperti pada pemanfaatan karbon dari cangkang kelapa sawit sebagai bahan elektroda superkapasitor ditemukan bahwa semakin kecil ukuran partikel maka semakin luas permukaan dan memberikan nilai kapasitansi yang lebih besar seperti pada Tabel 1. (Aziz dkk, 2016)

Pada superkapasitor jenis precursor biomasa, jenis elektrolit juga sangat mempengaruhi nilai kapasitansi dari elektroda yang dihasilkan seperti yang dilaporkan oleh Misnon dkk (2015). Dilaporkan juga bahwa metoda aktivasi, jenis aktivator, kondisi pirolisis memberikan luas permukaan yang berbeda terhadap karbon aktif yang dihasilkan, dan ini akan memberikan pengaruh terhadap nilai kapasitansi yang didapatkan. (Tabel 2).

**Table 1.** Perbandingan nilai kapasitansi dan luas permukaan spesifik terhadap ukuran partikel karbon cangkang kelapa sawit.

Ukuran partikel ( $\mu m$ )	Luas permukaan spesifik ( $m^2/g$ )	Nilai kapasitansi ( $\mu F$ )
45	27,253	12.6976
63	15,677	3.746
90	9,356	0,041

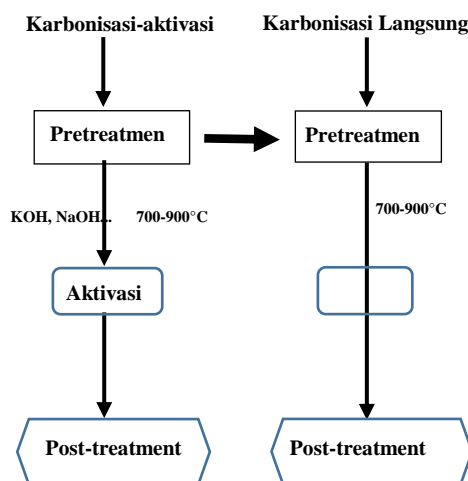
**Tabel 2.** Perbandingan karbon aktif yang dihasilkan terhadap jenis precursor biomasanya.

Precursor biomasa	Metoda aktivasi	Kondisi Pyrolisis	S <sub>BET</sub> (m <sup>2</sup> /g)	C <sub>s</sub> (F/g)	Elektrolit	Referensi
Serat pisang	ZnCl <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	686	74	1 M Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Subramanian, V dkk, 2007
Serat pisang	KOH	N <sub>2</sub>	135	156	1 M KOH	Chaitra, K dkk, 2016
Kulit kopi	ZnCl <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	842	156	6 M KOH	Jisha, M. R dkk 2009
Kulit kacang pistacio	KOH	N <sub>2</sub>	1009	125	HNO <sub>3</sub>	Wu, F.C dkk, 2005
Sekam padi	NaOH	N <sub>2</sub>	1886	210	3MKCl	Guo, y dkk, 2003
Daun teh	KOH	Ar	2841	330	2 M KOH	Peng, C dkk 2013
Kayu cemara	Steam	O <sub>2</sub>	1130	142	1 M HNO <sub>3</sub>	Wu, F.C dkk, 2005
Biji kopi	ZnCl <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	1019	368	1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Elmouwahid, A dkk, 2012
Tempurung kelapa	Steam	N <sub>2</sub>	1532	228	6 M KOH	Mi J, dkk, 2012
Kulit ginko	KOH	N <sub>2</sub>	1775	365	6 M KOH	Jiang L dkk, 2013
Cangkang kelapa sawit	KOH	O <sub>2</sub>	27,253	12,69	0,3 HNO <sub>3</sub>	Aziz, H dkk, 2017
Cangkang kelapa sawit	NaOH	O <sub>2</sub>	38,10	43,792	0,3 HNO <sub>3</sub>	Aziz, H dkk, 2016

Pada Tabel 2, berbagai jenis precursor biomassa memberikan nilai kapasitansi yang berbeda, metoda aktivasi juga memberikan nilai kapasitansi yang berbeda, seperti pada perlakuan dengan sumber karbon dari cangkang kelapa sawit, dimana perbedaan aktivator yaitu KOH dan NaOH memberikan luas permukaan yang berbeda seiring dengan nilai kapasitansi yang diberikan. Pada cangkang kelapa sawit dengan menggunakan aktivator NaOH memberikan pengaruh terhadap luas permukaan yang lebih besar sehingga nilai kapasitansi juga menjadi lebih besar.

Karbon berpori secara komersial banyak digunakan sebagai adsorben dan juga sebagai bahan elektroda pada superkapasitor, karbon berpori umumnya didapat secara aktivasi yang umumnya melalui metoda aktivasi karbonasi. Proses karbonasi adalah yang sederhana dan murah dengan temperatur pemanasan yang rendah (biasanya 500-1000°C). Bagaimanapun proses aktivasi akan menjadi mahal apabila menggunakan agen pengaktivasi atau aktivator dan menghasilkan luas permukaan yang besar sampai 1000-300m<sup>2</sup>/g. Adanya aktivator ini memberikan biaya yang mahal dan dan merusak lingkungan karena adanya sejumlah alkali yang digunakan. Zhang dkk, melaporkan bahwa perlakuan yang sederhana terhadap sekam padi melalui proses aktivasi secara karbonisasi langsung dapat memperkecil zat kimia yang digunakan. Mekanisme metoda karbonisasi-aktivasi ini dapat dilihat pada Gambar 5.

Luas permukaan yang besar dan volume pori yang tinggi pada karbon berpori dari sekam padi dihasilkan dari metoda karbonisasi langsung tanpa aktivasi. Hal ini dikarenakan peranan aktivasi sendiri dari sekam padi yaitu pada lignin dan selulosa oleh molekul air dan CO<sub>2</sub> selama proses karbonisasi.



Gambar 5. Mekanisme metoda karbonasi-aktivasi dan karbonisasi langsung untuk pembuatan karbon berpori.

**Larutan Ionik Sebagai Elektrolit Pada Superkapasitor**

Elektrolit adalah larutan yang mengandung ion yang berperilaku sebagai media elektrik konduktif. Elektrolit dalam kimia umumnya ada sebagai larutan asam, basa, atau garam. Elektrolit

yang digunakan pada supercapacitor dapat memainkan peran penting dalam mencapai rapat daya dan energi yang diinginkan. Jika elektrolit rusak pada voltase yang relatif rendah, sel superkapasitor mungkin tidak memiliki energi atau rapat daya yang cukup tinggi. Proses ini adalah difusi dan pergerakan ion-ion ini yang memungkinkan terbentuknya muatan yang berlawanan pada antarmuka elektroda yang menyebabkan penyimpanan muatan. Bila tidak ada bias potensial yang diterapkan pada superkapasitor, ion-ion dalam elektrolit didistribusikan secara acak. Begitu ada bias potensial, anion tertarik ke lapisan elektroda positif dan kation sebaliknya beralih ke lapisan elektroda negatif. Dengan demikian, faktor yang menghambat gerak ion dapat menyebabkan superkapasitor berperforma buruk. Dengan mekanisme yang melibatkan difusi melalui materi (dalam hal ini ion melalui membran pemisahan, atau ke lokasi adsorpsi elektroda), beberapa parameter dapat mempengaruhi gerak ionik: ukuran ion elektrolit, viskositas elektrolit, keterbasahan permukaan, dan berat molekul elektrolit. Superkapasitor yang ideal memiliki luas permukaan tinggi yang memungkinkan dengan sebanyak mungkin ion dapat mencapai permukaan elektroda tanpa adanya hambatan sifat kimiawi (struktur ikatan, massa, reaktivitas, keasaman, dll.) Elektrolit menjadi perhatian untuk melihat bagaimana pengaruhnya terhadap pergerakan ion melalui membran pemisah/separator dan permukaan elektroda. Sampai batas tertentu, ada distribusi ion lapisan difusi pada elektroda. Suatu jenis elektrolit yang disebut cairan ionik suhu ruangan dapat digunakan pada superkapasitor. Cairan ini adalah larutan elektrolit dengan suhu leleh di bawah suhu kamar. (Boyea dkk, 2007)

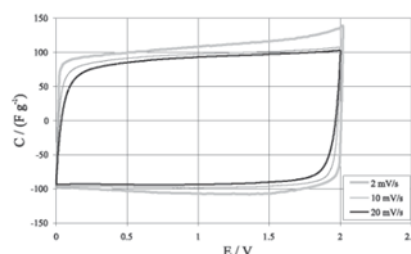
Cairan ionik saat ini dianggap sebagai suatu keterbaruan sifat elektrolit misalnya tegangan. Apabila ditambahkan sedikit asetonitril maka akan meningkatkan kapasitansi supercapacitor secara signifikan, Tahanan listrik menjadi meningkat karena viskositas tapi apabila dilakukan pada suhu tinggi (40-60°C) hal ini dapat diturunkan namun asetonitril tidak bagus secara ekologi.

Performa sebuah superkapasitor dapat disesuaikan dengan mengubah sifat elektrolit. Sebuah superkapasitor dapat memanfaatkan larutan atau elektrolit organik. Elektrolit seperti  $H_2SO_4$  dan  $KOH$ , umumnya memiliki ESR/tahanan seri yang lebih rendah dan memiliki ukuran pori lebih kecil dibandingkan dengan

elektrolit organik, seperti asetonitril. Namun, larutan elektrolit juga memiliki tegangan breakdown yang lebih rendah. Oleh karena itu, pemilihan antara larutan elektrolit atau organik, harus mempertimbangkan kapasitansi, dan tahanan dalam. Performa superkapasitor dapat diuji dengan sistem yang berbeda, misal galvanostatik charging/discharging (CV) dan dengan EIS (Electrochemical Impedance Spectroscopy). Sistem pengukuran akan menghasilkan performance dari kapasitansi spesifik, jendel potensial stabilitas charging/discharging, waktu pemakaian dan tahanan listrik dari superkapasitor.

Hal ini dapat dilihat dari kurva CV apabila menunjukkan bentuk persegi panjang sedikit terdistorsi tanpa puncak, menunjukkan gambaran kapasitor lapisan ganda yang ideal dalam proses pengisian dan pengosongan tanpa adanya reaksi redoks pada permukaan elektroda.

Contoh percobaan voltametri pada laju pemindaian potensial dari 2 sampai 20  $mV s^{-1}$  untuk karbon  $C_1$  dalam media organik ( $1 mol L^{-1}$  TEABF<sub>4</sub> dalam asetonitril) ditunjukkan pada Gambar 6. Bentuk persegi yang sempurna dari karakteristik membuktikan transfer muatan yang baik. (Frackowiak E, 2006)



Gambar 6. Karakteristik voltametri dari capacitor  $C_1$  (dalam media organik  $1 mol L^{-1}$  TEABF<sub>4</sub> dalam asetonitril) karbon aktif dengan pada laju scan yang berbeda.

## KESIMPULAN

Supercapacitor memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan menjadi piranti penyimpanan energi listrik karena memiliki rapat energi dan rapat daya yang besar, waktu pengisian yang lebih pendek, serta memiliki siklus hidup yang lebih panjang daripada baterai. Penggunaan karbon aktif sebagai bahan elektroda superkapasitor merupakan terobosan baru dalam peningkatan kinerja superkapasitor karena menggunakan sumber biomassa yang mudah didapatkan dan kemudahan dalam pengaturan ukuran pori sehingga memperluas permukaan yang meningkatkan nilai kapasitansi dari

superkapasitor. Pemilihan jenis pelarut, metoda aktivasi, jenis aktivator dan perlakuan selama karbonasi dan pirolisis menentukan karbon aktif yang dihasilkan. *Performance* dari superkapasitor dapat dilihat dari kurva siklik voltamogram yang berbentuk persegi panjang tanpa puncak yang menunjukkan bahwa superkapasitor yang ideal dalam proses pengisian dan pengosongan tanpa adanya reaksi redoks pada permukaan elektroda.

## DAFTAR RUJUKAN

- Aziz, H., Tetra, O.N., Alif. A., Syukri and Ramadhan, W. (2016). Electrical Properties of Supercapacitor Electrode-Based on Activated Carbon from Waste Palm Kernel Shells. *Der Pharma Chemica*. 8(15):227-232
- Aziz, H., Tetra, O.N., Alif, A., Syukri dan Perdana, Y.A. (2017). Performance Karbon Aktif Dari Limbah Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Elektroda Supercapacitor. *Jurnal Zarah*. 5.(2). 1-6
- Boyea, J.M., Camacho, R.E., Turano, S.P., and ready, W.J. (2007). Carbon Nanotube-Based Supercapacitors: Technologies and Markets, *Nanotechnology Law & Business* March 2007
- Chen, T., dan Dai, Liming. (2013). Carbon nanomaterials for high-performance supercapacitors. *Material Today*, 16 (7). 272-283
- Conway, B.E. (1999). *Electrochemical Supercapacitors: Scientific Fundamentals And Technological Applications*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Frackowiak, E. (2006). Supercapacitors Based on Carbon Materials and Ionic Liquids. *J. Braz. Chem. Soc*, 17 (6), 1074-1082.
- Frackowiak, E., Béguin, F.(2001). Carbon materials for the electrochemical storage of energy in capacitors. *Carbon*. 39(6):937-50.
- Zhou, Z., benbouzid, M., Charpentier, J. F., Scullier, F., Tang, T. (2013). A Review of energy storage technologies for marine current energy systems. *Renewable and sustainable reviews*, 18. 390-400
- Chaitra, K., Vinny, R.T., Sivaraman, P., Narendra, R., Chunyan Hu., Krishna Venkatesh., Vivek, C.S., Nagaraji, N., Kathyayini, N. (2016). KOH activated carbon derived from biomass-banana fibers as an efficient negative electrode in high performance asymmetric. *Journal of energy chemistry*, 6(1). 1-7
- Indah Sari, F.N., dan Ming Ting, J.(2016). *Surface & Coating Technology*, 303, 176-183
- Jiang, L., Yan, I., Hao R., Xue G., Sun. G., Yi, B. (2013), High Rate Performance activated carbon prepared from ginkgo shell for electrochemical supercapacitors, *Carbon*. 56, 146-154
- Jisha, M.R., Hwang, J.H., Shin, J.S., Nahm, K.S., Kumar P., Katikheyan, K., Dhanikaivelu, N., Kalpana, D., Renganathan, N.G., Stephan, A.N.(2009). Electrochemical Characterization Of Supercapacitors Based On Carbon Derived From Foffe Shell. *Mater. Chem.Phys*, 115. 33-40
- Liu, N., Shen. J., dan Liu, Dong. (2013). Activated High Spesific Surfaces Area Carbon Aerogels For Edlcs, *Mikroporous And Mesoporous Materials*, 167, 176-181.
- Mi, J., Wang, X.R., Fan, R.J., Qu, W.H. (2012). Coconut Shell Based Porous Carbons With A Tunable Micro/Mesopore Ration For High-Performance Supercapacitors. *Energy Fuels*. 26. 5321-5330
- Peng, C., Yan, X.B., Wang, R.T., Lang, J.W., Jing Ou. J., Ji Xue, Q. (2013). Promising Activated Carbons From Waste Tea-Leaves And Their Applicatio In High Performance Supercapacitors Electrodes. *Electrochimica Acta*, 87, 401-408.
- Rajagopal, R.R., Aravinda, L.S., Rajarao, R., Bhat, B. R., dan Sahajwalla, R. (2016). Activated Carbon Derived From Non Metallic Printed Circuit Board Waste For Supercapacitor Application. *Electrochimica Acta*, 211, 488-498.
- Rajkumar, M., Hsu, C.T., Wu, T.H., Chen, M.G, Hu, C.C.(2015). Advanced Materials For Aqueous Supercapacitors In The Asymmetric Design, *Materials International*, 25, 527-544.
- Simon P, Gogotsi Y. (2008). Materials For Electrochemical Capacitors. *Nat Mater* . 7. 845-54.
- Subramanian, V., Luo, C., Stephan, A.M., Nahm, K.S., Thomas, B., Wei. (2007). Supercapacitors From Activated Carbon Derived From Banana Fiber. *J. Phys Chem C* 111, 7527-7534
- Syarif, N. (2014) Performance of Biocarbon based electrodes for electrochemical capacitor. *Energy Procedia*, 52. 18-25

- Teng, Y., Liu, E., Ding, R., Liu, K., Liu, R., Wang, Luo., Yang, Z., Jiang, H. (2016). Bean Dregs-Based Activated Carbon/Copper Ion Supercapacitors. *Electrochimica Acta*, 194, 394-404.
- Tetra, O.N., Aziz, H., Emriadi, Wahyuni, H., and Alif, A. (2016). Performance of TiO<sub>2</sub>-Carbon on Ceramic Template with Sodium Hydroxide Activation as Supercapacitor Electrode Materials. *Der Pharma Chemica*. 8(17).26-30
- Tetra, O.N., Syukri, Alif, A., Fristina, R., and Aziz, H. (2017). Utilization Of Porous Carbon From Waste Palm Kernel Shells On Carbon Paper As A Supercapacitors Electrode Material. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 65 012053
- Van, L.K., & Luong Thi, T.T.(2014). Activated Carbon Derived From Rice Husk By NaOH Activation And Its Application In Supercapacitor. *Materials International*, 24, 191-198
- Vangari, M., Pryor, T., dan Jiang, L. Supercapacitors : review of materials and fabrication methods, *J. Energy Eng*, 139, 72-79
- Vuorilehto, K., Nuutinen, M. (2014) Supercapacitors-Basics And Applications, *Skeleton Tech*, Bautzen 23.1
- Zhang, J., Zhang, W., Zhang, H., pang, J., Cao, G., Han, M., dan Yang, Y.(2017), A Novel Synthesis Of Hierarchical Porous Carbon From Resol By Potassium Acetate Activation For High Performance Supercapacitor Electrodes, *Journal Of Alloys And Compounds*, 712, 76-81
- Zhang, A., lin, N., Liu, D., Xu, J., Sha, J., Yin, J., Tan, X., Yang, H., Lu, H., dan Lin H (2017). Direct Carbonization Of Rice Husk To Prepare Porous Carbon For Supercapacitor Applications. *Energy*, 128, 618-625.