

# FABRIKASI ELEKTRODA KARBON AKTIF SUPERKAPASITOR DENGAN MENGGUNAKAN METODE *HOTPRESS*

## *FABRICATION OF SUPERCAPACITOR ACTIVATED CARBON ELECTRODES USING THE HOTPRESS METHOD*

Faridz Abimanyu<sup>1</sup>, Memoria Rosi<sup>2</sup>, Abrar<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universitas Telkom, Bandung

<sup>1</sup>abimanyunn@students.telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>memoriarosi@telkomuniversity.ac.id

<sup>3</sup>abrarselalh@telkomuniversity.ac.id

---

### Abstrak

Superkapasitor merupakan perangkat penyimpanan muatan yang sedang dikembangkan dari kapasitor konvensional. Terdapat dua material penting penyusun superkapasitor yaitu elektroda dan elektrolit. Elektroda terdiri dari material berpori (karbon aktif), material konduktif (*carbon black*), dan perekat binder

Pada pembuatan elektroda terjadi permasalahan kurangnya daya rekat (adhesivitas) antara ketiga campuran bahan tersebut dengan pelat pengumpul arus (*Current Collector*). Hal ini disebabkan ketidakcocokan ikatan antara partikel ketiga bahan tersebut. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut maka dilakukan fabrikasi elektroda dengan metode *hotpress* untuk mengikat campuran material elektroda agar dapat berikatan satu sama lain dengan memberikan tekanan dan suhu tertentu. Fabrikasi elektroda dilakukan dengan memberikan variasi tekanan 8, 24, dan 40 MPa, dan suhu 100<sup>0</sup> C untuk mengevaluasi daya rekat(adhesivitas), sifat listrik dan kapasitansi spesifik.

Elektroda yang berhasil dibuat dikarakterisasi menggunakan karakterisasi adhesivitas dengan selotip, sifat listrik dengan metode *four point probe*. Selanjutnya dilakukan pengukuran sifat listrik elektroda menggunakan alat potensiostat dengan metode *Cyclic Voltametry*. Berdasarkan hasil pengukuran I-V pada potensiostat tersebut kemudian dihitung kapasitansi spesifiknya. Dari ketiga karakterisasi tadi akan dianalisa bagaimana pengaruh tekanan dan suhu penekanan alat *hotpress* terhadap adhesivitas, resistivitas serta kapasitansi spesifik superkapasitor.

---

### Abstract

*Supercapacitor is a charge storage device that are being developed from conventional capacitor. There are two important materials which is compose supercapacitor electrode and electrolyte. The electrode consists of porous material (activated carbon), conductive material (carbon black), and adhesive (binder).*

*In the manufacture of electrode, there is a problem of lack of adhesion (adhesiveness) between the three mixtures of these carbon materials and the current collector plate. This is due to the mismatch of bonds between the particles of the three materials. To solve this problem, electrode fabrication is carried out using the hot press method to bond the carbon particles by applying a certain pressure and temperature. Electrode fabrication was carried out by varying the pressure 8, 24, and 40 MPa and temperature 100 °C to evaluate porosity, adhesion (adhesiveness), electrical properties and specific capacitance.*

*The produced electrodes then characterized using adhesive characterization with adhesives, electrical properties using the four-point probe method. Furthermore, the measurement of the electrical properties of the electrode were carried out using a potentiostat using the Cyclic Voltametry method. Based on the results of the I-V measurement on the potentiostat, the specific capacitance is then calculated. From the three characterizations, it has been analyzed how the influence of pressure and temperature of the hotpress process to the adhesiveness, resistivity and the specific capacitance of the supercapacitor.*

---

## 1. Pendahuluan

Superkapasitor adalah sebuah perangkat penyimpanan yang sedang dikembangkan oleh banyak peneliti, karena superkapasitor memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan kapasitor konvensional. Beberapa keunggulan superkapasitor ialah memiliki kapasitansi spesifik yang tinggi (melebihi 100 F/g) dan umur pakai (*lifetime*) mencapai 20

tahun. Pengisian dan pengosongan superkapasitor terjadi sangat cepat yaitu dalam orde detik dan memiliki daya spesifik (5-20 kW/kg)[1-3].

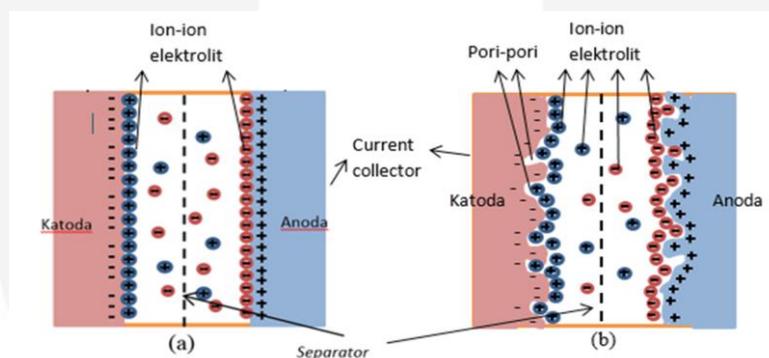
Material penyusun superkapasitor terdiri dari dua material penting yaitu, elektroda dan elektrolit. Material elektroda yang banyak dikembangkan adalah dengan menggunakan karbon aktif dengan keunggulan memiliki luas permukaan spesifik yang besar, mudah dibuat, dan memiliki porositas yang baik [1]. Pada penelitian ini karbon aktif yang digunakan berukuran 1nm yang sudah diproduksi massal. Dikarenakan konduktivitas dari karbon nano pori rendah maka, dibutuhkan material pendukung untuk meningkatkan konduktivitas karbon nano pori tersebut, material yang digunakan ialah *carbon black*. Untuk menghasilkan elektroda superkapasitor, karbon aktif dan *carbon black* dicampur dengan perekat (*binder*) yang biasanya berupa polimer. Masalah yang sering terjadi pada elektroda adalah kurangnya daya rekat (*adhesivitas*) antara ketiga campuran tersebut dengan pelat pengumpul arus (*Current Collector*) [4]. Hal ini dapat terjadi akibat ketidakcocokan ikatan antara partikel karbon aktif, *carbon black*, dan perekat. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, beberapa peneliti menggunakan metode *hotpress* untuk membuat campuran material elektroda dapat berikatan dengan lebih baik dengan memberikan tekanan dan suhu.

Pada penelitian lain yang menggunakan metode *hotpress* dijelaskan bahwa dengan penggunaan tekanan dan suhu yang sesuai, resistansi antara elektroda dan pelat pengumpul arus dapat dikurangi. Perekat yang digunakan adalah polytetraethylene fluoride (PTFE) dengan suhu 160°C dan tekanan 10-50 bar. Pemberian tekanan sebesar 10, 30, 50 bar dapat menghasilkan kapasitansi spesifik 104, 104,7 dan 102,6 F/g[4]. Semakin tinggi tekanan maka resistansi elektronik pada elektroda akan semakin rendah, ditunjukkan oleh menghilangnya setengah lingkaran pada grafik plot nyquist elektroda[4]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa parameter fisis yang terbaik terjadi pada suhu 160°C dan tekanan 50 bar. Namun tekanan 50 bar ini ternyata dapat mengurangi porositas yang disebabkan oleh perubahan morfologi perekat, pada tekanan 50 bar perekat jauh lebih padat sehingga dibutuhkan pemilihan tekanan yang lebih rendah dan suhu yang lebih tinggi[4]. Dengan keterbatasan literatur yang ada, pada penelitian ini peneliti akan melakukan eksplorasi lebih dalam terhadap parameter proses fabrikasi seperti tekanan dan suhu..

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Superkapasitor

Superkapasitor terdiri dari dua elektroda yang dipisahkan oleh elektrolit[6]. Pada dasarnya superkapasitor memiliki prinsip kerja sama seperti kapasitor konvensional. Elektroda berfungsi untuk melewati potensial listrik dan elektrolit berfungsi sebagai sumber muatan berupa ion-ion[5]. Konstruksi kapasitor (a). dan konstruksi superkapasitor (b). dapat dilihat pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1** (a). Konstruksi kapasitor dan (b). Konstruksi superkapasitor[15].

Struktur konstruksi superkapasitor berbentuk dua buah plat sejajar yang hampir sama dengan konstruksi kapasitor biasa. Material superkapasitor terdiri dari material berpori berskala nano sehingga memiliki luas permukaan spesifik yang besar yaitu lebih dari 1000 m<sup>2</sup>/g. Keberadaan pori-pori tersebut menjadi tempat penyimpanan ion-ion elektrolit.

Kapasitansi dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara muatan yang tersimpan dalam kapasitor (Q) dengan potensial listrik (V) yang diberikan[5].

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2.1)$$

Perhitungan Besarnya kapasitansi superkapasitor sama dengan kapasitor konvensional, dimana kapasitansi berbanding lurus dengan luas permukaan elektroda (A) dan berbanding terbalik dengan jarak antar muatan (ion-ion) (d)[5].

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} \quad (2.2)$$

Dengan  $\epsilon_0$  ialah permitivitas ruang vakum dan  $\epsilon_r$  ialah konstanta dielektrik elektrolit.

Superkapasitor memiliki prinsip prinsip dasar seperti kapasitor konvensional. Namun, pada superkapasitor luas area permukaan elektroda  $A$  dibuat lebih besar dan ketebalan bahan dielektrik dibuat jauh lebih tipis sehingga menurunkan jarak  $d$  antar elektroda. Dengan begitu kapasitansi pada superkapasitor dapat menjadi lebih besar dari kapasitor konvensional.

## 2.2 Material Penyusun Superkapasitor

### 2.2.1. Elektroda

Elektroda adalah salah satu material penyusun pada kapasitor yang sangat penting dan memiliki kriteria agar superkapasitor yang dihasilkan bagus. Kriteria elektroda yang baik adalah memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi, konduktivitas yang relatif tinggi, distribusi pori yang besar dan tahan terhadap kondisi asam/basa dan perubahan suhu. Salah satu elektroda yang biasa digunakan untuk superkepasitor adalah karbon aktif karena memenuhi kriteria elektroda yang baik. Selain itu karbon aktif mudah dibuat dalam skala besar. Karbon aktif merupakan material yang memiliki pori dengan distribusi pori yang luas dari skala mikropori ( $< 2\text{nm}$ ) dan mesopori (2-50 nm). Karbon aktif dapat terbuat dari biomassa seperti tempurung kelapa. Tempurung kelapa memiliki berbagai macam keunggulan antara lain luas permukaan yang besar, porositas yang mudah dikontrol dan kandungan debu yang sedikit [14]. Proses pembentukan karbon aktif terdiri atas proses karbonisasi dan aktivasi. Karbonisasi ialah dekomposisi termal dari material biomassa menjadi karbon, sedangkan aktivasi adalah pembentukan pori menggunakan aktivator seperti senyawa asam, basa garam.

### 2.2.2 Material Konduktif Tambahan untuk Karbon Aktif

Elektroda yang dipakai memiliki kekurangan yaitu konduktivitas yang rendah disebabkan semakin besarnya luas permukaan yang dimiliki oleh karbon aktif. [1]. Oleh karena itu diperlukan material konduktif seperti *carbon black*, grafit dan lain lain untuk meningkatkan konduktivitas listrik elektroda. Secara umum, terdapat beberapa kriteria material konduktif tambahan yaitu [10]:

- a. Konduktivitas listrik yang baik.
- b. Ketahanan terhadap korosi.
- c. kemurnian yang tinggi.
- d. Konduktivitas thermal yang tinggi.

Konduktivitas listrik pada elektroda harus dipilih yang optimal sehingga tidak mengurangi kontribusi elektroda sebagai penyimpan muatan maupun sebagai elektroda konduktif. Untuk elektroda superkapasitor, kontribusi konduktivitas tersebut berasal dari *carbon black*. *Carbon black* lebih banyak dipilih oleh industri superkapasitor karena sebagian telah memenuhi kriteria di atas seperti memiliki kemurnian yang tinggi (sekitar 97-99% karbon) dan konduktivitas yang baik, namun penambahan *carbon black* yang terlalu banyak akan menyebabkan sifat elektroda menjadi dominan seperti logam (konduktif), sehingga elektroda tidak dapat menyimpan muatan ion-ion elektrolit. Oleh karena itu diberikan perbandingan rasio karbon aktif, *carbon black*, dan *binder* sebesar 8:1:1[5].

### 2.2.3 Binder

*Binder* (perekat) berperan sebagai pengikat material aktif dan bahan konduktif dan juga menempelkan kedua material tersebut pada plat logam. Ada beberapa jenis binder yang biasa digunakan untuk pembuatan elektroda dan sebagian besar sudah pernah digunakan dalam pembuatan elektroda superkapasitor. Binder terbuat dari material polimer yang bersifat isolator, karakteristik fisika dan kimia masing-masing binder berbeda-beda dikarenakan setiap binder memiliki struktur kimia yang berbeda satu sama lain. Binder dengan material hidrofilik umumnya memiliki *wettability* yang baik sehingga diduga baik untuk penyerapan ion-ion elektrolit, sedangkan material hidrofobik memiliki sifat kekuatan mekanik yang baik karena stabil terhadap pelarut berbasis air (*aquous*). Dalam penelitian ini digunakan binder PTFE yang termasuk dalam golongan termoplastik dan memiliki keunggulan tahan terhadap asam, basa, dan panas serta stabil secara elektrokimia. Kestabilan kimia pada PTFE disebabkan oleh elektronegativitas atom flour. PTFE banyak digunakan untuk aplikasi superkapasitor karena beberapa keunggulan tersebut [17].

### 2.2.4 Current Collector

Prinsip dasar untuk mencapai kemampuan daya tinggi dari elektroda adalah dengan meminimalkan resistansi keseluruhan sistem elektrokimia. Terdapat tiga sumber utama resistansi pada elektroda karbon aktif, yang pertama adalah resistansi ionik terkait dengan difusi ion elektrolit dalam pori-pori karbon aktif, kedua adalah resistansi elektronik dalam lapisan elektroda yang merupakan interaksi antara partikel karbon aktif, karbon *black* dan perekat, dan ketiga adalah resistansi elektronik pada permukaan antara pelat pengumpul arus dan campuran material elektroda. Resistansi ionik akan berpengaruh terhadap kemampuan ion-ion dalam menghantarkan arus listrik, semakin besar resistansi maka kemampuan ion-ion untuk menghantarkan listrik semakin rendah. Dalam pembuatan elektroda dengan menggunakan *hotpress* pemberian tekanan akan mempengaruhi resistansi elektronik, tekanan yang diberikan akan

membuat ikatan antara campuran material elektroda dengan plat pengumpul arus akan semakin baik. Pemilihan pelat pengumpul arus yang tepat merupakan salah satu cara untuk meminimalkan resistansi keseluruhan sistem elektrokimia, agar arus bisa mengalir ke seluruh material penyimpan energi dan berpengaruh terhadap hasil kapasitansi spesifik[8].

### 2.3 Metode Hotpress

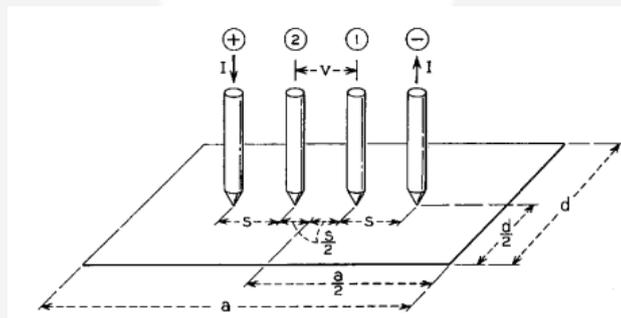
*Hotpress* adalah sebuah metode yang dapat digunakan dalam pembuatan elektroda dengan cara memadatkan material penyusun elektroda dengan mengatur suhu dan tekanannya. Pada dasarnya mesin *hotpress* adalah sebuah alat yang dirancang untuk mengerjakan penekanan panas yang dapat diaplikasikan untuk membuat produk logam, plastik, dan pepadatan matriks dan serat menjadi papan komposit dan lainnya. Mesin *hotpress* menggunakan sistem hidrolisis yang dipompa menggunakan pompa hidrolis. Pada proses mesin *hotpress* hidrolis ini digunakan pemanas listrik daya 350 watt dan tegangan 220 volt dengan sistem pemanas terpisah sebagai sumber energi panasnya, hal ini bertujuan untuk memudahkan penggantian jika salah satu elemen pemanas rusak atau tidak berfungsi maka dapat langsung di ganti tanpa harus mengganggu rangkaian listrik yang lain. Kelebihan metode fabrikasi menggunakan *hotpress* yaitu, lebih mudah digunakan, serta dapat menghasilkan elektroda dengan adhesivitas yang baik[7]

### 2.4 Karakterisasi Four point Probe

Karakterisasi *four-point probe* dilakukan untuk mengetahui sifat listrik suatu elektroda. Karakterisasi *four-point probe* dilakukan dengan menggunakan empat buah *probe* dimana dua buah *probe* berfungsi sebagai pembaca tegangan dan dua *probe* lainnya berfungsi untuk mengalirkan arus. Penggunaan *four-point probe* sebagai pengukur resistivitas akan lebih optimal dilakukan dengan menggunakan susunan Wenner agar didapatkan pembacaan yang tepat dan akurat serta tidak memerlukan banyak biaya[18]. Resistivitas elektroda yang telah dibuat dapat diukur dengan rumus sebagai berikut:

$$\rho = \frac{I}{V} \times \frac{d}{s} \quad (2.3)$$

dengan  $\rho$  merupakan resistivitas,  $I$  adalah arus,  $V$  adalah tegangan,  $d$  adalah panjang elektroda dan  $s$  adalah jarak antara keempat *four point probe*. Adapun rumus 2.3 diperoleh melalui asumsi bahwa ketebalan elektroda sangat tipis dibandingkan jarak antar probe yaitu dalam orde ratusan micron [20].



Gambar 2.2 Prinsip kerja *four point probe*[19].

Pada pengukuran dengan sampel berbentuk persegi panjang, metode *four-point probe* lebih disarankan, keempat *probe* akan disusun secara simetris dengan diberikan jarak yang sama antar *probe* ( $s$ ) seperti gambar 2.4. Untuk mendapatkan tegangan antara dua *probe* arus dialirkan melalui dua *probe* terluar.

### 2.5 Karakterisasi Adhesivitas

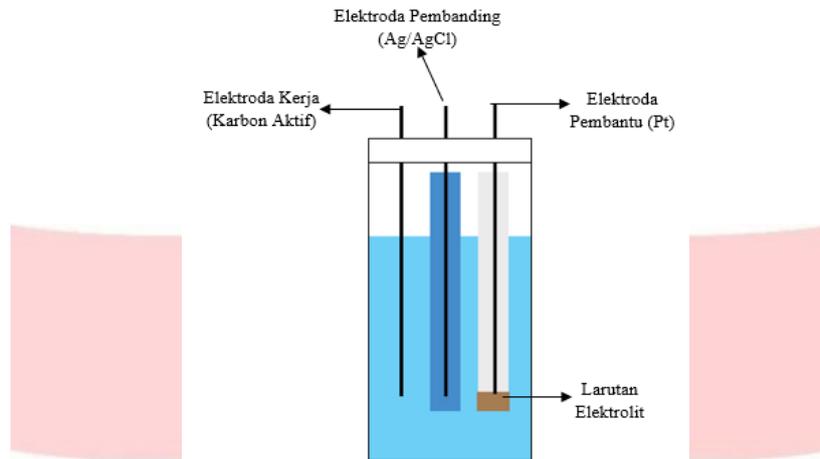
Pengujian adhesivitas dilakukan dengan cara menempelkan selotip lalu kemudian ditunggu beberapa saat dan ditarik kemudian. Hal tersebut dilakukan dengan merujuk pada standar ASTM D3359. Setelah dilakukan pengujian, diperlukan analisa kuantitatif berupa kekuatan adhesivitas elektroda. Untuk menghitung berapa besar luas elektroda yang menempel pada selotip dilakukan dengan cara memasukkan gambar digital dari selotip yang telah diuji dan mengolahnya dengan *software ImageJ*

### 2.6 Karakterisasi Cyclic Voltammetry

Karakterisasi *Cyclic Voltammetry* adalah sebuah metode yang dilakukan untuk mengetahui sifat elektrokimia dan nilai kapasitansi dari elektroda. Metode ini dilakukan dengan cara memberikan variasi tegangan pada setiap satuan waktu. Dengan memberikan variasi tegangan akan dapat diamati rapat arus yang dihasilkan. Pada pengukuran ini dibutuhkan tiga buah elektroda yang direndam di dalam larutan elektrolit.

Elektroda pertama berfungsi elektroda kerja (*working electrode*) yaitu elektroda karbon aktif, elektroda kedua dibutuhkan sebagai elektroda pembantu (*counter electrode*) dengan material penyusun terbuat dari Platina (Pt) yang

dapat mengalirkan arus menuju elektroda kerja agar arus yang terdapat pada elektroda tersebut dapat diukur. Elektroda yang terakhir adalah elektroda pembanding (*reference electrode*) yang berfungsi sebagai penjaga agar tidak terjadi tegangan drop pada elektroda dengan cara menjaga tegangan konstan selama pengukuran. Pada umumnya elektroda pembanding yang digunakan adalah elektroda Ag/AgCl. Skema peletakan elektroda ditunjukkan oleh gambar 2.3.

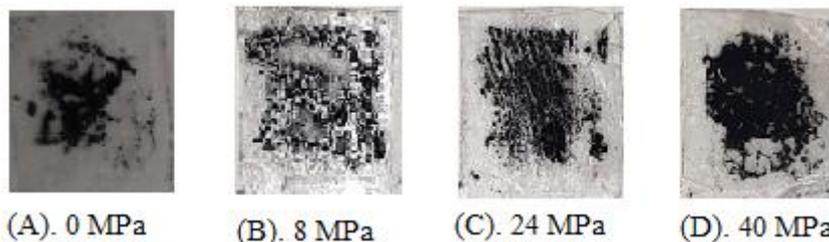


Gambar 2.3 Skema karakterisasi *cyclic voltammetry*[11].

### 3. Pembahasan

#### 3.1 Karakterisasi Adhesivitas

Uji adhesivitas dilakukan untuk mengetahui kekuatan daya rekat elektroda. Hasil uji adhesivitas ditunjukkan pada gambar 3.1. dapat dilihat perbedaan karbon yang menempel pada selotip disetiap sempel, dimana gambar digital yang berwarna hitam menunjukkan karbon yang tertinggal pada selotip bening.



Gambar 3.1 Gambar digital uji adhesivitas (A). 0 MPa, (B). 8 MPa, (C).24 MPa, dan (D). 40 MPa

Untuk mengetahui kekuatan adhesivitas yang merupakan invers dari banyaknya karbon yang menempel pada selotip bening maka dilakukan pengolahan Gambar 3.1 menggunakan *image processing* dengan *software* ImageJ. Hasil pengolahan tersebut ditunjukkan pada tabel 3.1 dimana dapat dilihat pengaruh tekanan terhadap adhesivitas elektroda.

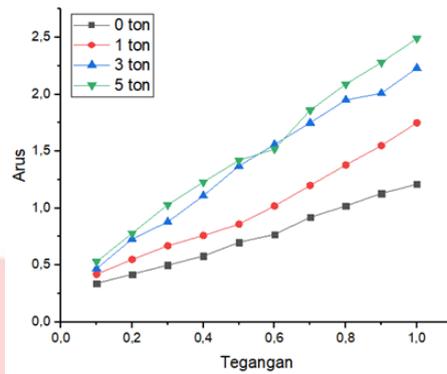
Tabel 3.1 Kekuatan adhesivitas elektroda dengan variasi tekanan.

Variasi tekanan pada elektroda	Karbon yang menempel pada selotip (%)	Kekuatan adhesivitas (%)
0 MPa	19,80%	80,20%
1 MPa	31,72%	68,28%
3 Mpa	33,00%	67%
5 Mpa	36,94%	63,06%

Adhesivitas elektroda akan berkurang sebanding dengan dinaikan tekanan, hasil adhesivitas terbaik dimiliki sempel yang tidak diberikan tekanan (0 Mpa) sebesar 80,20%. Hal tersebut dikarenakan pemberian tekanan pada elektroda menyebabkan retakan pada permukaan elektroda, karena material elektroda yang dioleskan pada plat pengumpul arus masih terlalu cair dan tipis. Untuk penambahan tekanan, terlihat kekuatan adhesivitas semakin berkurang dari 68,28% sampai 63,06%.

#### 3.2. Karakterisasi *Four Point Probe*

Karakterisasi *Four Point Probe* dilakukan dengan memvariasikan tegangan dari 0,1 V - 1 V untuk mendapatkan perbedaan arus menggunakan multimeter. Pada saat pengukuran diberikan jarak antar probe yaitu 0,2 cm dengan lebar permukaan sampel elektroda 1 cm.



**Gambar 3.2** Grafik I-V sampel variasi tekanan.

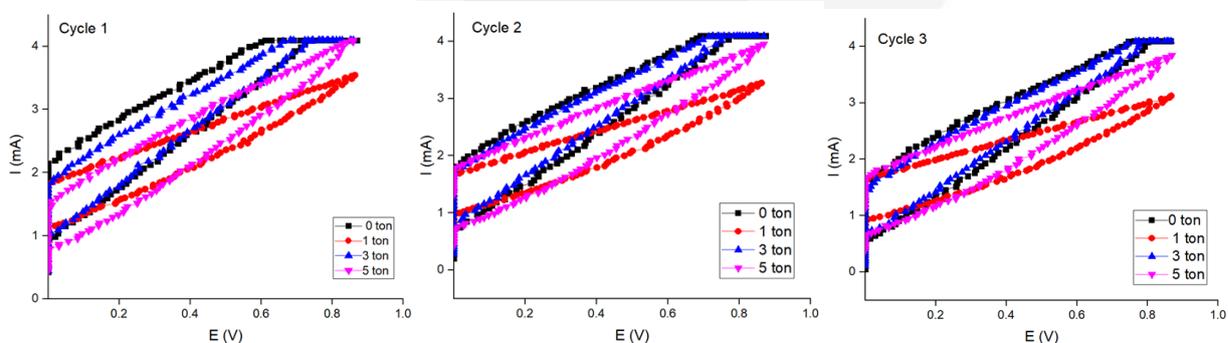
Gambar 3.2 menunjukkan hasil karakterisasi *Four Point Probe*, dengan memberikan variasi tegangan maka didapatkan perbedaan arus sehingga dapat dihitung besar resistivitasnya. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan nilai resistivitas untuk sampel tanpa diberikan tekanan, tekanan 8 MPa, tekanan 24 MPa, tekanan 40 MPa berturut – turut adalah 5,00  $\Omega$ , 3,44  $\Omega$ , 2,56  $\Omega$ , 2,33  $\Omega$ . Dari data yang diperoleh dapat dilihat bahwa resistivitas semakin kecil dengan penambahan tekanan. Resistivitas paling rendah dimiliki oleh sampel yang diberikan tekanan sebesar 40 MPa (2,33  $\Omega$ ) dan resistivitas terbesar terbesar dimiliki oleh sampel yang tidak diberikan tekanan (5,00  $\Omega$ ). Hal tersebut terjadi dikarenakan tekanan yang diberikan membuat ikatan antara material elektroda dengan plat pengumpul arus semakin baik sehingga menghasilkan resistivitas paling rendah[8].

**Tabel 3.2** Hasil resistivitas elektroda

Variasi tekanan pada elektroda	Resistivitas ( $\Omega/cm$ )
0 Mpa	5,00
8 MPa	3,44
24 MPa	2,56
40 MPa	2,33

### 3.3 Karakterisasi *cyclic voltammetry*

Karakterisasi *cyclic voltammetry* dilakukan dengan menggunakan konfigurasi dua elektroda sejenis yang diletakan saling berhadapan untuk mendapatkan hasil pengukuran arus listrik dan tegangan yang akurat. Pada karakterisasi ini masing-masing sampel diukur dengan siklus sebanyak 3 kali dengan menggunakan elektrolit  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sebesar 1 M dan *scan rate* 10 mV/s. Hasil karakterisasi dapat dilihat pada gambar 3.3. Dari kurva pada gambar 3.3 dapat dihitung besar kapasitansi yang merupakan luas area kurva. Semakin besar luas area kurva akan semakin besar kapasitansi yang dihasilkan.



**Gambar 3.3** Kurva *cyclic voltammetry* elektroda karbon aktif dengan variasi tekanan.

Gambar 3.3 menunjukkan secara umum kapasitansi yang dihasilkan stabil pada setiap pengukurannya. Hal ini dapat dilihat tidak jauh berbeda nya luas area kurva pada pengukuran satu, dua, dan tiga. Hasil kapasitansi spesifik dengan variasi tegangan dapat dilihat pada tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Nilai kapasitansi dengan variasi tekanan

Variasi tekanan	Kapasitansi spesifik cycle 1 (F/g)	Kapasitansi spesifik cycle 2 (F/g)	Kapasitansi spesifik cycle 3 (F/g)	Kapasitansi spesifik rata - rata (F/g)
0 Mpa	61,95	61,31	61,94	61,75
8 MPa	42,49	44,90	46,45	44,61
24 MPa	42,37	45,16	46,68	44,74
40 MPa	53,80	64,77	65,93	61,50

Tabel 3.3 menunjukkan hasil kapasitansi spesifik terhadap variasi tegangan. Kapasitansi spesifik terbesar diperoleh pada sampel yang tidak diberikan tekanan sama sekali (tekanan 0 MPa) yaitu sebesar 61,75 F/g. Pemberian tekanan sebesar 8 MPa dan 24MPa menurunkan kapasitansi spesifik menjadi 44,61 F/g dan 44, 74 F/g. Kapasitansi spesifik pada sampel tanpa tekanan (0 MPa) bisa dikatakan sama dengan kapasitansi spesifik pada sampel dengan tekanan 40 MPa (61,5 F/g). Jika dibandingkan dengan nilai resistansinya, sampel 40 Mpa memiliki resistivitas yang lebih baik yaitu sebesar 2,33  $\Omega$  namun memiliki adhesivitas paling buruk yaitu hanya sebesar 63,06%. Namun demikian karena terbatasnya variasi tekanan, belum dapat disimpulkan tekanan optimal yang dapat meningkatkan adhesivitas yang baik dan resistivitas yang minimal dan kapasitansi spesifik superkapasitor yang maksimal.

#### 4. Kesimpulan

1. Pada penelitian ini elektroda superkapasitor telah dibuat dengan mencampurkan material pembuat elektroda yaitu karbon aktif, *carbon black* dan *binder* PTFE dengan komposisi 8:1:1 menggunakan metode *hotpress* dan memvariasikan tekanan sebesar 0, 8, 24, dan 40 MPa.
2. Hasil kapasitansi spesifik terbesar didapatkan oleh sampel yang tidak diberikan tekanan sama sekali (0 MPa) yaitu sebesar 61,75 F/g dengan sifat adhesivitas yang baik (80,20%) dan resistivitas yang tinggi sebesar 5,00  $\Omega$ . Kapasitansi spesifik lain yang tergolong tinggi juga adalah elektroda dengan tekanan 40 MPa (61,50 F/g) dengan resistivitas 2,33  $\Omega$  namun adhesivitas rendah 63,06%.
3. Ekeperimen ini belum mampu menghasilkan kombinasi yang baik antara kekuatan adhesivitas yang baik dengan resistivitas yang baik. Namun demikian pemberian tekanan dapat mengurangi resistivitas elektroda untuk semua sample. Jika dilihat dari resistivitas yang baik dan kapasitansi spesifik yang baik pada elektroda dengan tekanan 5 ton, metode *hotpress* ini masih berpotensi meningkatkan kapasitansi spesifik dengan melakukan optimasi parameter *hotpress* lebih lanjut

#### REFERENSI :

- [1] Z. S. Iro, C. Subramani dan S. Dash, "A Brief Review on Electrode Materials for Supercapacitor," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 11, p. 7, 2016.
- [2] W. Raza, F. Ali dan N. Raza, "Recent Advancements in Supercapacitor Technology," *Nano Energy*, vol. 52, pp. 441-473, 2018.
- [3] C. D. Oancea, "Supercapacitors, a Battery Replacement," dalam *International Conference of Scientific Paper Afases*, Brasov, 2012.
- [4] Dsoke, S., tian, x., Täubert, C., Schlüter, S., dan Wohlfahrt-Mehrens, M. "Strategies to reduce the resistance sources on Electrochemical Double Layer", *Journal of Power Sources*, 2013.
- [5] M. Rosi, "Superkapasitor Berbaris Karbon Nanopori dari Tempurung Kelapa sebagai Penyimpan Energi," Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2014.
- [6] A. Berreuta, A. Ursua, I. S. Martin, A. Eftekhari dan P. Sanchis, "Supercapacitors: Electrical Characteristics, Modeling, Applications, and Future Trends," *IEEEAccess*, vol. 7, pp. 50869-50896, 2019.
- [7] H. Rizal, Marnob , Kardimanc , W. Eri, "Rancang Bangun Mesin Hotpress Untuk Pembuatan Papan Komposit Berbasis Limbah Sekam Padi Dan Plastik HDPE", *Journal*

of Infrastructure and Science Engineering, Volume 2 – No.1, 2019.

- [8] Hsien-Chang Wu, Eric Lee, Nae-Lih Wua., T.Richard Jow., “Effects of current collectors on power performance of Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub> anode for Li-ion Battery”, *Journal of Power Sources* 197, page 301– 304, 2012.
- [9] “Mouser Electronics,” 1 October 2014. [Online]. Available: [https://www.mouser.com/pdfdocs/MurataEDLCtechnical\\_guide\\_e\\_rev.PDF](https://www.mouser.com/pdfdocs/MurataEDLCtechnical_guide_e_rev.PDF). [Diakses 18 October 2019].
- [10] M. Kobayashi, A. Monden dan T. Handa, “Electrolytic Capacitor and Method of Manufacturing the same”. United States of America Paten US 7,218,506 B2, 15 May 2007.
- [11] I. Ramadhani, Pengaruh Kandungan Tempurung Kelapa terhadap Luas Permukaan Spesifik Karbon Nanopori, Bandung: Universitas Telkom, 2018.
- [12] C. Zhong, Y. Deng, W. Hu, D. Sun dan X. Han, *Electrolytes for Electrochemical Supercapacitors*, New York: Taylor and Francis Group, 2016.
- [13] S. Agus, S. Rohmad, Bandriyana, D. Arbi, “Studi Scanning Electron Microscopy (Sem) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium”, *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*, Volume 9, Nomor 2, 2015.
- [14] N. Christina, E. Sungadi, “ Elektoda Karbon Untuk Electrochemical Double – Layer Capacitors Dari Kulit Durian Kapasitas 1.800 Ton/Tahun”, 2003.
- [15] K. Mensah-Darkwa, C. Zequine, P. K. Kahol dan R. K. Gupta, “Supercapacitor Energy Storage Device Using Biowastes: A Sustainable Approach to Green Energy,” *Sustainability*, no. 11, p. 414, 2019.
- [16] R. Ramachandran dan F. Wang, “Electrochemical Capacitor Performance: Influence of Aqueous Electrolytes,” dalam *Supercapacitors - Theoretical and Practical Solutions*, Shenzhen, IntechOpen, p. 1051, 2018.
- [17] L. Bonnefoi , P. Simon , J.F. Fauvarque , C. Sarrazin , J.F. Sarrau , A. Dugast, “*Electrode compositions for carbon power supercapacitors*”, dalam *Journal of Power Sources*, pp.149–155, 1998.
- [18] A. Raharja, A. Suhendi, dan D. Darmawan, “Pengukuran resistivitas pada pelat konduktor tipis menggunakan metode four” dalam *e-proceeding of engineering*, pp. 5305, 2019.
- [19] J. M Montes, F. G Cuevas, dan J. Cintas, “*Porosity effect on the electrical conductivity of sintered powder compacts*”, dalam *Applied Physics A – Materials Science & Processing*, vol 92, pp.375 – 380, 2008.
- [20] Smits. F, “Measurement of Sheet Resistivities with the Four-Point Probe”, *Bell System Technical Journal*, vol. 37, page 711 – 718, 1958.