

Fabrikasi Elektroda Karbon Aktif Dengan Metoda Deposisi Elektroforesis

Activated Carbon Electrode Fabrication Using Electrophoretic Deposition Method

M.Nanang Ziad Fatmizal¹, Memoria Rosi², Abrar Ismardi³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

¹nanangziadfatzmizal@students.telkomuniversity.ac.id, ²memoriarosi@telkomuniversity.ac.id

³abrarselah@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Superkapasitor merupakan salah satu perangkat penyimpanan energi yang memiliki nilai kapasitansi jauh lebih besar dari kapasitor biasanya. Superkapasitor terdiri dari komponen utama yaitu elektroda dan elektrolit. Pada penelitian ini dilakukan fabrikasi elektroda karbon aktif menggunakan metoda deposisi elektroforesis untuk menghasilkan elektroda dengan sifat *wettability* yang baik dengan cara melakukan variasi *binder* yaitu PTFE dan PTFE/HEC. Selain itu, dilakukan analisa pengaruh morfologi dan sifat listrik terhadap kapasitansi spesifik. Fabrikasi elektroda dilakukan dengan menggunakan pelarut NMP dan NMP/air pada tegangan konstan sebesar 15 V selama 20 menit. Terdapat empat karakterisasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu karakterisasi *wettability* dengan *Contact Angle*, karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui morfologi elektroda yang dihasilkan, karakterisasi *Four Point Probe* untuk menentukan sifat listrik (resistivitas) dan karakterisasi *Cyclic Voltammetry* untuk mengetahui sifat elektrokimia dan nilai kapasitansi dari elektroda karbon aktif. Pada karakterisasi *wettability* didapatkan hasil sifat *wettability* paling baik ditunjukkan pada komposisi *binder* PTFE/HEC 1:2 dengan sudut kontak sebesar 22,8°. Hasil yang paling baik pada karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) ditunjukkan oleh komposisi *binder* PTFE/HEC 1:0 karena tidak banyak *binder* PTFE/HEC yang menutup pori-pori elektroda. Untuk karakterisasi *Four Point Probe* hasil resistivitas paling baik ditunjukkan pada komposisi *binder* PTFE/HEC = 1:2 sebesar 17,9 Ω/cm . Berdasarkan hasil karakterisasi *Cyclic Voltammetry*, diperoleh kapasitansi maksimal sebesar 31 F/g dengan komposisi *binder* PTFE/HEC = 1:0 dengan morfologi permukaan yang baik ditandai dengan tidak banyaknya *binder* yang menutupi pori-pori elektroda. Pada elektroda dengan variasi komposisi *binder* PTFE/HEC menunjukkan bahwa resistivitas dan sifat *wettability* tidak selalu berbanding lurus dengan kapasitansi, namun morfologi permukaan elektroda yang baik memiliki kontribusi yang paling dominan terhadap nilai kapasitansi spesifik.

Kata Kunci: Deposisi elektroforesis, *wettability*, *Scanning Electron Microscopy*, *Four Point Probe*, *Cyclic Voltammetry*, kapasitansi spesifik.

Abstract

Supercapacitor is an energy storage device that has a capacitance value that is much larger than ordinary capacitors. Supercapacitors consist of the main components, namely electrodes and electrolytes. In this study, activated carbon electrodes were fabricated using the electrophoretic deposition method to produce electrodes with good *wettability* properties by varying the binder, namely PTFE and PTFE/HEC. In addition, an analysis of the influence of morphology and electrical properties on the specific capacitance was conducted. Electrode fabrication was carried out using NMP and NMP/water solvents at a constant voltage of 15 V for 20 minutes. There are four characterizations used in this study, namely characterization *wettability* with *Contact Angle*, characterization *Scanning Electron Microscopy* (SEM) to determine the morphology of the resulting electrode, characterization *Four Point Probe* to determine electrical properties (resistivity) and *Cyclic Voltammetry* characterization to determine the electrochemical properties and capacitance values of activated carbon electrodes. The characterization of *wettability* showed that the best properties were *wettability* shown in the composition of the binder PTFE/HEC 1:2 with a contact angle of 22.8°. Best result in the characterization *Scanning Electron Microscopy* (SEM) are indicated by a composition binder PTFE/ HEC 1: 0 for not much binder PTFE / HEC which closes the pores of the electrode. For the characterization of the *Four Point Probe*, the best resistivity results are shown in the composition binder PTFE/HEC = 1:2 of 17.9 Ω/cm . Based on the results of the characterization *Cyclic Voltammetry*, a maximum capacitance of 31 F/g was obtained with a composition binder PTFE/HEC = 1:0

with a good surface morphology characterized by not many binders covering the electrode pores. At electrodes with various compositions binder PTFE/HEC, it shows that resistivity and wettability are not always directly proportional to capacitance, but good electrode surface morphology has the most dominant contribution to the specific capacitance value.

Keywords: Electrophoretic deposition, wettability, Scanning Electron Microscopy, Four Point Probe, Cyclic Voltammetry, specific capacitance.

1. Pendahuluan

Seiring berkembangnya teknologi banyak peneliti melakukan terobosan baru untuk mengembangkan perangkat penyimpanan energi seperti superkapasitor. Superkapasitor sangat diminati karena memiliki beberapa kelebihan seperti nilai kapasitansi jauh lebih besar dari kapasitor biasanya yaitu mencapai 10^2-10^6 kali lipat, rapat daya yang tinggi dan usia pemakaian (*lifetime*) yang lama mencapai 20 tahun serta waktu pengisian dan pengosongan yang cepat dalam orde detik. Pada superkapasitor muatan elektrolit berupa ion-ion disimpan pada pori – pori elektroda melalui proses pengisian dan pengosongan dalam hitungan detik. Akibatnya, superkapasitor memiliki densitas daya yang tinggi ($>10\text{kW/kg}$) dan umur siklus yang tinggi (>500.000) [1]. Adapun komponen penyusun sel superkapasitor yang utama adalah elektroda dan elektrolit.

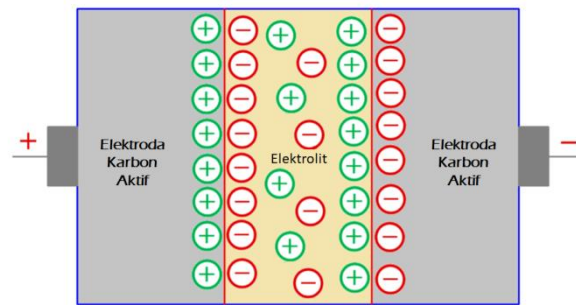
Elektroda merupakan komponen utama yang menentukan kapasitas penyimpanan energi superkapasitor. Salah satu material penyusun elektroda yang banyak digunakan adalah karbon aktif. Elektroda yang berbasis karbon aktif memiliki konduktivitas listrik yang kecil sehingga biasanya ditambahkan *carbon black* dan perekat (*binder*). Campuran ketiga material tersebut menghasilkan padatan yang kental seperti bubur (*slurry*) dengan ukuran yang partikel yang besar sekitar ratusan μm . Akibatnya lapisan elektroda yang dihasilkan dari *slurry* ini menjadi cukup tebal. Padahal lapisan yang relatif tipis dapat memudahkan difusi ion-ion elektrolit menuju pelat pengumpul arus (*current collector*) sehingga penyimpanan muatan dapat berlangsung dengan baik. Di sisi lain, tidak mudah menemukan daya rekat (*adhesivitas*) yang baik dari *slurry* pada pelat pengumpul arus (*current collector*). Dengan demikian studi tentang *binder* menjadi penting juga dilakukan.

Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk menghasilkan kapasitansi spesifik yang besar adalah dengan membuat elektroda yang tipis (massa yang ringan) yaitu dengan metoda deposisi elektroforesis. Pada deposisi elektroforesis ini, elektroda dapat dibuat lebih encer sehingga lapisan yang dihasilkan lebih tipis. Penelitian sebelumnya yang dilakukan Mao-Sung dkk menggunakan metode deposisi elektroforesis dengan karbon aktif dilapisi Ni dan *binder polytetrafluoroethylene* (PTFE) menghasilkan nilai kapasitansi spesifik sebesar 140 F/g [2], sedangkan penelitian lain yang dilakukan Shrestha dkk menggunakan metode deposisi elektroforesis dengan karbon aktif YP-50 dan *binder polytetrafluoroethylene* (PTFE) menghasilkan kapasitansi spesifik sebesar 158,6 F/g [3]. Penelitian yang dilakukan Kim, Yi, Sang-Eun dkk menggunakan metode deposisi elektroforesis dengan karbon aktif pada substrat indium timah oksida (ITO) dan *binder polytetrafluoroethylene* (PTFE) mendapatkan kenaikan nilai kapasitansi mencapai 60 F/g [4]. Pada metoda deposisi elektroforesis ini campuran ketiga material elektroda akan ditarik menuju pelat pengumpul arus dengan memberikan medan listrik DC yang tinggi biasanya 15-100 volt. Berangkat dari keterbatasan literatur tentang fabrikasi elektroda karbon aktif, maka pada penelitian ini dilakukan variasi komposisi perekat (*binder*) yaitu PTFE (*polytetrafluoroethylene*), HEC (*hydroxyl ethyl cellulose*) yang dicampur *cetyl alcohol* untuk menghasilkan sifat *wettability* yang baik, dengan mengamati pengaruhnya terhadap kapasitansi spesifik yang dihasilkan serta dilakukan karakterisasi morfologi dan sifat listrik. *Binder* PTFE (*polytetrafluoroethylene*) merupakan salah satu perekat yang sering digunakan karena memiliki daya rekat yang baik dan stabil terhadap pemanasan. *Binder* HEC (*Hydroxyl Ethyl Cellulose*) digunakan karena memiliki sifat *wettability* yang baik, sifat elektrokimia yang stabil, dan sifat termal yang baik. Hipotesa penulis adalah jika dilakukan penambahan HEC pada PTFE akan menghasilkan elektroda dengan sifat *wettability* yang baik sehingga kapasitansi spesifik dapat meningkat.

2. Dasar Teori

2.1 Superkapasitor

Salah satu perangkat penyimpanan energi merupakan superkapasitor. Prinsip kerja superkapasitor sama dengan kapasitor konvensional. Superkapasitor umumnya terdiri dari dua elektroda yang dipisahkan oleh elektrolit. Pada superkapasitor, muatan listrik berupa ion-ion yang disimpan pada pori-pori elektroda [5]. Konstruksi pada superkapasitor yang berbasis karbon aktif terdiri dari dua elektroda berpori yang terpisah separator *semi-permeable* dan masih memungkinkan ion-ion dapat bergerak di antara elektroda tersebut (Gambar 2.1). Dua elektroda yang dipisahkan pada superkapasitor berfungsi untuk melewati potensial listrik. Potensial listrik akan mengontrol transport ion-ion pada kedua elektroda [5]. Nilai kapasitansi dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara muatan yang tersimpan dalam kapasitor (Q) dengan potensial listrik (V) yang diberikan.



Gambar 2.1 Konstruksi superkapasitor [6]

Kapasitansi superkapasitor dapat diestimasi dari perhitungan kapasitor konvensional yaitu berbanding lurus dengan luas permukaan (A) dan berbanding terbalik dengan jarak antar muatan (ion-ion) (d).

Superkapasitor memiliki luas area permukaan elektroda A yang dibuat lebih besar dan ketebalan bahan dielektrik dibuat jauh lebih tipis sehingga menurunkan jarak d antara elektroda. Akibatnya, kapasitansi pada superkapasitor dapat menjadi lebih besar dari kapasitor konvensional [7].

2.2 Material Penyusun Superkapasitor

2.2.1 Elektroda

Komponen utama yang menjadi tempat penyimpanan muatan listrik adalah elektroda. Salah satu elektroda yang biasa digunakan untuk superkapasitor adalah karbon aktif karena memiliki luas permukaan spesifik yang besar (pori-pori terdistribusi dalam ukuran nano), mudah dibuat dan murah. Karbon aktif merupakan material yang memiliki distribusi pori yang luas dari skala mikropori ($< 2\text{nm}$), mesopori ($2\text{-}50\text{ nm}$) dan makropori ($>50\text{ nm}$) sehingga luas permukaan yang ada pada karbon aktif menjadi sangat besar yaitu dapat mencapai $>1000\text{ m}^2/\text{g}$ [9]. Pada penelitian ini karbon aktif yang digunakan adalah karbon aktif komersial dengan ukuran 1 nm . Karbon aktif memiliki konduktivitas yang rendah disebabkan strukturnya yang amorf. Oleh karena itu untuk aplikasi elektroda superkapasitor, karbon aktif biasanya dicampur dengan *carbon black* untuk meningkatkan konduktivitas elektroda.

Carbon black banyak dipilih karena memiliki konduktivitas yang baik, ketahanan terhadap korosi dan konduktivitas termal yang tinggi. Biasanya, konduktivitas *carbon black* adalah sekitar $10^{-1}\text{-}10^2\text{ I}/\Omega\text{ cm}$ dengan luas $10\text{-}1500\text{ m}^2/\text{g}$ [10].

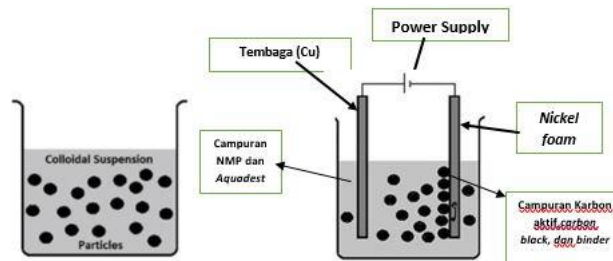
Selain karbon aktif dan karbon black, dibutuhkan perekat atau *binder* yang berfungsi untuk mengikat elektroda dengan *carbon black* dan pelat pengumpul arus. Prinsip kerja pada *binder* yaitu ketika *binder* terlarut (biasanya dipanaskan sampai *binder* meleleh) maka akan ada gaya *adhesi/van der waals* yang merupakan gaya tarik menarik antar molekul secara fisika sehingga *binder* dapat menyatukan karbon aktif dan *carbon black*. *Binder* dapat mempengaruhi kapasitansi karena dapat menutupi pori-pori karbon sehingga biasanya hanya digunakan 5-15% [11]. *Binder* bersifat isolator sehingga jika terlalu banyak digunakan pada karbon dapat menutupi seluruh pori-pori yang akan menurunkan konduktivitas dan struktur kimia yang berbeda-beda menyebabkan karakteristik fisika dan kimia masing-masing *binder* menjadi berbeda pula. Material hidrofilik umumnya memiliki *wettability* yang baik sehingga diduga baik untuk penyerapan ion-ion elektrolit, sedangkan material hidrofobik memiliki keunggulan sifat kekuatan mekanik karena stabil terhadap pelarut berbasis *aquous*. Perekat yang sering digunakan pada superkapasitor seperti PVA (*polivinil alcohol*), CMC (*carboxy methyl cellulose*), PVDF (*polyvinylidene fluoride*), PTFE (*polytetrafluoroethylene*) dan HEC (*Hydroxyl Ethyl Cellulose*). *Binder* PTFE (*polytetrafluoroethylene*) memiliki keunggulan dapat bertahan di suhu tinggi dan stabil secara elektrokimia. CMC (*carboxy methyl cellulose*) merupakan jenis polimer termoplastik berfluorinasi yang memiliki keunggulan tahan terhadap pelarut, asam, basa, dan panas, yang berdampak stabilnya elektrokimia. PVA (*polivinil alcohol*) merupakan polimer termoplastik yang larut dalam air dengan fleksibilitas tinggi, kekuatan tarik dan kekuatan ikatan, serta sifat pembentuk film dan ketahanan pelarut yang sangat baik [12]. PVDF (*polyvinylidene fluoride*) merupakan salah satu jenis *binder* dengan stabilitas mekanik yang tinggi, sifat *swelling* yang rendah, dan kemampuan integrasi pada elektroda yang tinggi [13]. HEC (*Hydroxyl Ethyl Cellulose*) merupakan salah satu polimer alami yang memiliki sifat elektrokimia yang stabil dan sifat termal yang baik [14].

2.2.2 Elektrolit

Elektrolit merupakan suatu larutan yang mengandung ion-ion serta berperilaku sebagai media elektrik konduktif [15]. Elektrolit pada superkapasitor memiliki peranan penting karena merupakan sumber muatan pada superkapasitor. Kapasitansi superkapasitor dapat dipengaruhi dari pemilihan elektrolit dan konsentrasinya. Kemampuan untuk menyimpan muatan dipengaruhi oleh kemampuan masuknya ion ke pori sehingga ukuran ion dan ukuran pori harus optimal. Elektrolit dapat berupa elektrolit cair, organik dan padat (gel). Elektrolit cair lebih banyak digunakan dalam penelitian karena elektrolit cair tidak membutuhkan pengkondisian khusus. Beberapa jenis elektrolit yang biasa digunakan seperti H_2SO_4 , Na_2SO_4 , dan KOH .

2.3 Metoda Deposisi Elektroforesis

Deposisi elektroforesis seperti ditunjukkan Gambar 2.2 merupakan suatu teknik pemrosesan material dengan menggunakan deposisi partikel bermuatan dalam suspensi yang digerakkan oleh arus listrik DC [16]. Sel deposisi elektroforesis terdiri dari pelat pengumpul arus (*Nickel Foam*), elektroda pembantu (Tembaga), suspensi yang berisi karbon aktif, *carbon black*, perekat, pelarut (NMP dan *aquades*) dengan keadaan suspensi dan pelarut pada gelas ukur tercampur. Mekanisme deposisi elektroforesis serupa dengan pengisian muatan secara elektrokimia. Proses elektrokimia merupakan suatu proses perpindahan elektron yang terjadi pada sebuah media pengantar listrik (elektroda) dari reaksi kimia. Partikel bermuatan dari suspensi akan menempel ke pelat pengumpul arus (*Nickel Foam*) dan selanjutnya mengendap yaitu campuran karbon aktif, *carbon black*, dan perekat. Tembaga digunakan karena larutan yang digunakan bersifat *inert* sehingga tidak memicu korosi pada tembaga sebagaimana juga dilakukan oleh beberapa penelitian lain [3].

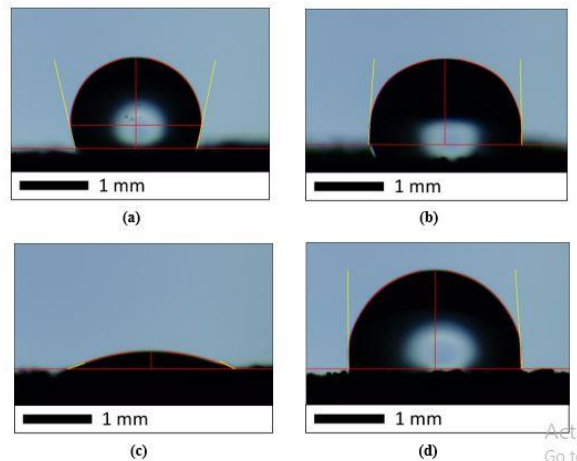


Gambar 2.2 Sketsa deposisi elektroforesis [16].

3. Pembahasan

3.1 Karakterisasi *Wettability*

Pada karakterisasi *wettability* elektroda diamati melalui penetesan larutan elektrolit pada permukaan elektroda dengan menggunakan *digital microscope* uji sudut kontak (*Nachriebe 320, Center for Aerosols and Analytical Instrumentation, ITB, Indonesia*) untuk mengamati keterbasahan elektroda. Gambar 3.1 menunjukkan citra gambar hasil karakterisasi *wettability* dengan menggunakan *digital microscope*. Dari hasil citra gambar tersebut didapatkan hasil sudut kontak masing-masing variasi komposisi *binder* PTFE/HEC. Pada Tabel 3.1 ditunjukkan hasil pengukuran sudut kontak menggunakan aplikasi *myDropMeter*. Untuk gambar (a) sudut kontak terukur 102.5 ± 0.10 , gambar (b) sudut kontak yang terukur 87.7 ± 0.13 , gambar (c) sudut kontak terukur 22.8 ± 0.36 dan gambar (d) sudut kontak terukur 88.3 ± 0.15 . Secara teoritis, jika sudut kontak kurang dari 90° maka elektrolit mudah menembus permukaan karbon dan mengisi karbon berpori [25]. Dari data sudut kontak yang didapat maka variasi komposisi *binder* PTFE/HEC yang baik ditunjukkan pada gambar (c) dengan komposisi 1:2 yang memiliki sifat fisis hidrofilik paling baik karena sudut kontak yang dihasilkan kurang dari 90° yaitu sebesar 22.8° , kemudian disusul gambar (b) dengan komposisi 1:1 yang memiliki besar sudut kontak 87.7° , gambar (d) dengan komposisi 2:1 yang memiliki besar sudut kontak 88.3° dan gambar (a) dengan komposisi 1:0 yang memiliki besar sudut kontak 102.5° . Pada komposisi 2:1 sudut kontak yang dihasilkan paling besar di antara yang lain yaitu lebih dari 90° sehingga sifat hidrofilik *binder* PTFE/HEC dengan komposisi 2:1 kurang baik. Terdapat anomali pada gambar (a) dikarenakan sifat *binder* yang digunakan yaitu PTFE bersifat hidrofobik sehingga penyerapannya kurang baik, di mana secara teori *binder* dengan sifat hidrofobik memiliki besar sudut kontak lebih dari 90° dan pada gambar (a) dihasilkan sudut kontak yang besar yaitu mencapai 102.5° .



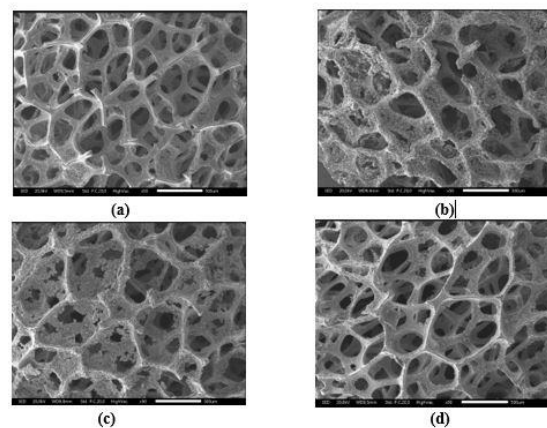
Gambar 3.1 Citra permukaan elektroda dengan variasi komposisi binder PTFE/HEC : (a) 1:0,(b)1:1,(c) 1:2, (d) 2:1.

Tabel 3.1 Data uji sudut kontak

Elektroda dengan binder PTFE/HEC	Sudut Kontak (°)
1:0	102.5°
1:1	87.7°
1:2	22.8°
2:1	88.3°

3.2 Karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Karakterisasi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan untuk mengetahui bentuk morfologi elektroda yang dihasilkan. Pada proses karakterisasi *Scanning Electron Microscopy*, sampel yang diletakan di atas alat SEM *specimen holder* kemudian ditempel menggunakan *carbon double tape* dengan bagian penampangnya menghadap vertikal ke arah lensa kondenser, proses tersebut dilakukan agar susunan lapisan matrik bahan dapat terlihat dengan jelas. Untuk mendapatkan gambar SEM yang jelas dapat diatur perbesaran gambar yang diinginkan.



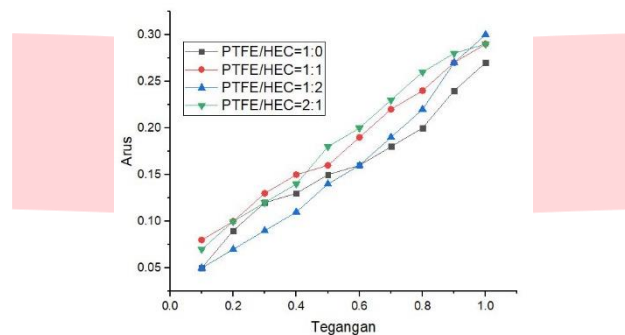
Gambar 3.2 Gambar SEM dari variasi komposisi binder PTFE/HEC : (a) 1:0, (b) 1:1, (c) 1:2, (d) 2:1.

Gambar 3.2 menunjukkan hasil karakterisasi SEM untuk mengetahui bentuk morfologi elektroda dengan variasi komposisi PTFE/HEC. Gambar (a) menunjukkan hasil morfologi permukaan variasi komposisi PTFE/HEC dengan komposisi 1:0. Jika dilihat dari hasil gambar, pori-pori elektroda tidak banyak ditutupi oleh *binder* yang dipakai. Gambar (b) menunjukkan hasil morfologi permukaan variasi komposisi PTFE/HEC dengan komposisi 1:1. Dapat dilihat dari hasil gambar terlihat pori-pori pada elektroda banyak tertutup oleh partikel HEC/*cetyl alcohol*. Gambar (c) menunjukkan hasil morfologi permukaan variasi komposisi PTFE/HEC dengan komposisi 1:2. Dari hasil gambar terlihat pori-pori pada elektroda juga banyak tertutup oleh partikel HEC/*cetyl alcohol*. Gambar (d) menunjukkan hasil morfologi permukaan variasi komposisi PTFE/HEC dengan komposisi 2:1. Jika dilihat dari hasil gambar, pori-pori elektroda tidak banyak ditutupi oleh *binder* yang dipakai. Dari hasil SEM pada

Gambar 3.2 menunjukkan bahwa morfologi permukaan paling baik ditunjukkan oleh gambar (a), karena pori-pori elektroda tidak banyak ditutupi oleh *binder* yang dipakai. Pada gambar (b) dan (c) terlihat hasil kurang bagus karena pori-pori pada elektroda banyak tertutup oleh partikel HEC/*cetyl alcohol*. Untuk gambar (d) terlihat cukup bagus karena tidak banyak HEC/*cetyl alcohol* yang menempel, namun masih ada beberapa tertutup oleh *binder* yang dipakai sehingga mengakibatkan masih lebih bagus gambar (a) dengan variasi komposisi *binder* 1:0. Pada *Nickel Foam* polos jika dilihat menggunakan SEM berbentuk seperti *network* atau *sponge* yang berfungsi memudahkan elektrolit serta meningkatkan luas area karena strukturnya berupa *porous*. Pada hasil gambar yang didapat menunjukkan material karbon aktif dan *carbon black* yang berupa butiran halus menempel pada sela-sela *porous Nickel Foam* dengan beberapa *binder* yang menempati *porous Nickel Foam* seperti pada beberapa penelitian menggunakan pelat *Nickel*.

3.3 Karakterisasi FPP (Four Point Probe)

Pada karakterisasi *Four Point Probe* dilakukan dengan memvariasikan tegangan dari 0,1 V – 1 V untuk mendapatkan perbedaan arus menggunakan multimeter dan jarak antar *probe* yaitu 0,2 cm dengan lebar permukaan elektroda 1 cm.



Gambar 3.3 Grafik V-I Variasi komposisi *binder*.

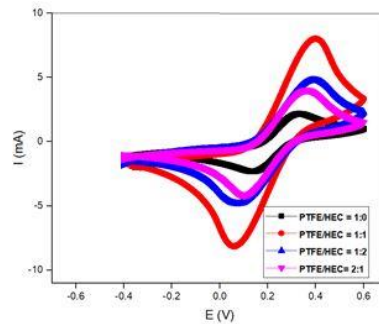
Gambar 3.3 menunjukkan hasil karakterisasi *Four Point Probe* dengan memvariasikan tegangan agar mendapatkan perbedaan arus sehingga dapat dihitung besar resistivitasnya. Hasil resistivitas setelah dilakukan perhitungan, nilai resistivitas PTFE/HEC=1:0, PTFE/HEC=1:1, PTFE/HEC=1:2, PTFE/HEC=2:1 berturut-turut 22,7 Ω/cm , 21,7 Ω/cm , 17,9 Ω/cm , 19,2 Ω/cm yang dapat dilihat pada Tabel 3.3. Dari hasil perhitungan, nilai resistivitas terendah ditunjukkan pada variasi komposisi *binder* PTFE/HEC=1:2 dengan resistivitas sebesar 17,9 Ω/cm , hal ini menunjukkan bahwa komposisi *binder* PTFE/HEC=1:2 memiliki resistivitas yang rendah yang disebabkan banyaknya kandungan HEC pada elektroda tersebut. Untuk nilai resistivitas paling besar ditunjukkan pada variasi komposisi *binder* PTFE/HEC=1:0 sebesar 22,7 Ω/cm , hal ini menunjukkan komposisi binder PTFE/HEC=1:0 memiliki resistivitas yang paling tinggi dibandingkan dengan sampel lainnya. Jika dibandingkan dengan pengukuran *wettability* maka dapat dilihat bahwa semakin baik *wettability* maka resistivitas semakin menurun. Penggunaan *binder* HEC pada elektroda menyebabkan nilai resistivitasnya semakin kecil, hal ini dikarenakan sifat *wettability* HEC yang baik.

Tabel 3.3 Hasil resistivitas elektroda

Elektroda dengan binder PTFE/HEC	Resistivitas (Ω/cm)
1:0	22,7
1:1	21,7
1:2	17,9
2:1	19,2

3.4 Karakterisasi Cyclic Voltammetry

Karakterisasi *Cyclic Voltammetry* dilakukan dengan menggunakan tiga elektroda yaitu elektroda kerja (karbon aktif), elektroda pembantu (Pt), dan elektroda pembanding (Ag/AgCl). Ketiga elektroda tersebut dimasukkan ke dalam tabung kaca yang sudah diisi dengan larutan elektrolit Na_2SO_4 1 M. Kemudian ujung ketiga elektroda tersebut dihubungkan dengan kabel menuju Voltammogram yang dioperasikan dengan rentang tegangan -0,5 V sampai 0,5 V dan *scan rate* 10 mV/s.



Gambar 3.4 Kurva *Cyclic Voltammetry* variasi komposisi *binder* PTFE/HEC.

Hasil olah data karakterisasi *Cyclic Voltammetry* dapat dilihat pada Gambar 3.4. Nilai kapasitansi dapat ditentukan dengan menghitung luas terlebih dahulu dari grafik pada Gambar 3.4. Besar kapasitansi dapat dilihat secara langsung dari hasil grafik, luas area yang paling besar menandakan nilai kapasitansi yang dihasilkan besar. Akan tetapi pada penelitian ini massa sampel tidak sama sehingga luas area tidak berbanding lurus dengan kapasitansi spesifik. Secara umum elektroda yang baik yaitu memiliki lapisan yang ringan (lebih tipis) yang dapat dilihat dari massanya (Tabel 3.4). Namun, jenis komposisi *binder* dengan penambahan HEC belum mampu menghasilkan lapisan yang tipis (massa yang ringan) seperti pada elektroda dengan *binder* PTFE saja.

Tabel 3.4 Pengaruh massa terhadap kapasitansi spesifik

Elektroda dengan binder PTFE/HEC	Massa karbon (gram) <i>Nickel Foam</i> = 0,089	Kapasitansi (F)	Kapasitansi Spesifik (F/g)
1:0	0,095	0,115 F	31 F/g
1:1	0,132	0,39 F	17 F/g
1:2	0,107	0,265 F	28 F/g
2:1	0,108	0,2 F	20 F/g

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan (Tabel 3.4), nilai kapasitansi spesifik paling baik didapatkan pada variasi komposisi *binder* PTFE/HEC = 1:0 sebesar 31 F/g karena morfologi permukaan yang dihasilkan bagus, apabila dilihat pori-pori elektroda tidak banyak tertutup oleh *binder*. Untuk nilai kapasitansi spesifik variasi komposisi *binder* PTFE/HEC = 1:2 sebesar 28 F/g yang lebih rendah jika dibandingkan dengan *binder* PTFE/HEC = 1:0. Hal ini mungkin disebabkan morfologi permukaan banyak HEC/*cetyl alcohol* yang menutupi pori-pori elektroda. Nilai kapasitansi PTFE/HEC = 2:1 sebesar 20 F/g variasi ini kurang optimal karena dilihat dari morfologi permukaan masih ada beberapa pori-pori yang tertutup *binder* sehingga hasilnya masih lebih bagus PTFE/HEC = 1:0 karena dengan banyaknya pori yang tertutup maka penetrasi ion elektrolit tidak baik yang mengakibatkan penurunan pada nilai kapasitansinya. Nilai kapasitansi PTFE/HEC = 1:1 sebesar 17 F/g variasi ini kurang optimal karena dilihat dari morfologi permukaannya banyak HEC/*cetyl alcohol* yang menutupi pori-pori elektroda dan juga sifat *wettability* tidak bagus sehingga menyebabkan kapasitansi kurang optimal.

Jika dibandingkan antara elektroda 1:0 dan 1:2 terlihat nilai kapasitansi spesifik yang tidak begitu jauh berbeda. Terlepas dari rendahnya kapasitansi spesifik dari *binder* dengan penambahan HEC (1:2), namun elektroda ini memiliki sifat *wettability* yang baik sehingga elektroda dengan komposisi 1:2 ini masih berpotensi sebagai elektroda superkapasitor dan masih berpotensi menghasilkan kapasitansi spesifik lebih besar dari komposisi 1:0, dengan catatan bahwa massa yang terdeposisi bisa dikurangi (lapisan dibuat lebih tipis). Massa yang lebih besar ini kemungkinan besar berasal dari kandungan pelarut *aquades* yang belum menguap dengan baik. Namun secara umum, komposisi ini masih bisa digunakan jika parameter waktu deposisi yang digunakan lebih kecil.

4. Kesimpulan

1. Pengaruh variasi komposisi *binder* PTFE/HEC terhadap sifat *wettability* yaitu jika ditambahkan HEC pada PTFE dapat meningkatkan sifat *wettability*, hal ini dapat dilihat sudut kontak variasi komposisi binder PTFE/HEC yang baik ditunjukkan pada komposisi 1:2 dengan besar sudut kontak kurang dari 90° yaitu sebesar 22,8°.
2. Pengaruh variasi komposisi *binder* PTFE/HEC terhadap morfologi permukaan di mana morfologi permukaan yang paling baik ditunjukkan oleh variasi komposisi *binder* PTFE/HEC dengan komposisi 1:0 karena pori-pori elektroda tidak banyak ditutupi oleh *binder* yang dipakai. Namun, pada komposisi 1:1 dan 1:2 morfologi permukaan yang dihasilkan kurang bagus karena banyak pori-pori yang tertutup HEC/*cetyl alcohol*.

3. Pengaruh variasi komposisi *binder* PTFE/HEC terhadap sifat listrik ditunjukkan dengan besarnya resistivitas, di mana nilai resistivitas rendah menunjukkan sifat *wettability* yang baik pada elektroda yang dibuat. Pada penelitian ini nilai resistivitas terendah didapat pada variasi komposisi *binder* PTFE/HEC dengan komposisi 1:2 sebesar $17,9 \Omega/\text{cm}$.
4. Pengaruh variasi komposisi *binder* PTFE/HEC terhadap kapasitansi spesifik di mana kapasitansi maksimal didapat sebesar 31 F/g pada komposisi *binder* PTFE/HEC=1:0 dengan morfologi permukaan yang baik. Pada variasi komposisi *binder* PTFE/HEC ini menunjukkan bahwa resistivitas dan sifat *wettability* tidak selalu berbanding lurus dengan kapasitansi, namun morfologi permukaan elektroda yang baik memiliki kontribusi dominan terhadap nilai kapasitansi spesifik. Selain itu variasi *binder* PTFE/HEC sebesar 1:2 dengan sifat *wettability* yang paling baik, dirasa masih berpotensi untuk dilanjutkan pada penelitian selanjutnya dengan mengurangi lama deposisi sehingga elektroda yang dihasilkan lebih tipis dan memungkinkan memiliki kapasitansi spesifik lebih baik dari PTFE.

REFERENSI:

- [1] H. Qiang Wang, J. Yin, Q. Li, P. Yin and P. , "Current Progress on the Preparation of Binders for Electrochemical Supercapacitors," *Journal of Postdoctoral Research* , vol. 2, no. 1, pp. 31-38, 2014.
- [2] M.-S. Wu * and K.-H. Lin , "One-step Electrophoretic Deposition of Ni-Decorated Activated-Carbon Film as an Electrode Material for Supercapacitors," *J. Phys. Chem. C* , vol. 114, no. 13, p. 6190–6196, 2010.
- [3] M. Shetha, I. Amaty, K. Wang, B. Zheng, Z. Gu and Q. H. Fan, "Electrophoretic Deposition Of Activated Carbon YP-50 With Ethyl Cellulose Binders For Supercapacitor Electrodes," *Journal of energy storage*, no. 13, pp. 206-210, 2017.
- [4] T. Kim, S.-H. Yi and S.-E. Chun, "Electrophoretic deposition of a supercapacitor electrode of activated carbon onto an indium-tin-oxide substrate using ethyl cellulose as a Binders," *Journal of Materials Science & Technology*, no. 58, p. 188–196, 2020.
- [5] M. Rosi, "Superkapasitor Berbasis Karbon Nanopori dari Tempurung Kepala sebagai Penyimpan Energi," *Institut Teknologi Bandung, Bandung*, 2014.
- [6] K. Mensah-Darkwa, C. Zequine, P. K. Kahol and R. K. Gupta, "Supercapacitor Energy Storage Device Using Biowastes: A Sustainable Approach to Green Energy," *Sustainability*, no. 11, p. 414, 2019.
- [7] A. Riyanto , "Superkapasitor Sebagai Piranti Penyimpan Energi Listrik Masa Depan".
- [9] L. A. Al Baroroh, I. Handayani and M. Rosi, "EFEK PENYISIPAN Mn TERHADAP KONDUKTIVITAS DAN KAPASITANSI KARBON NANOPORI DARI BAHAN TEMPURUNG KELAPA," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 4, p. 606, 2017.
- [10] E. Talib and M. A. Azam, "An extensive study on carbon nanomaterials electrode from electrophoretic deposition technique for energy storage device," *J. Mater. Res*, vol. 31, no. 13, p. 1974, 2016.
- [11] D. F. Puspita , "PENGARUH PEMANASAN PADA PROSES PELARUTAN BINDER TERHADAP KINERJA KATODA PADA SEL BATERAI ION-LITIUUM," *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik* , vol. 7, no. 1, pp. 23-30, 2017.
- [12] Y. J. L. Q. Y. P. P. Wang H.Q., "Current Progress on the Preparation of Binders for Electrochemical Supercapacitors," 2014.
- [13] D. Swantomo, . A. and L. A. Hasnowo, "PENGARUH BINDER PVDF DAN KETEBALAN ELEKTRODA KOMPOSIT POLIANILIN GRAPHENE SELULOSA TERHADAP KONDUKTIVITAS SEL SUPERKAPASITOR," SEMINAR NASIONAL SDM TEKNOLOGI NUKLIR , pp. 346-350, 2018.
- [14] S. Gupta and P. K. Varshney, "Effect of plasticizer concentration on structural and electrical properties of hydroxyethyl cellulose (HEC)-based polymer electrolyte," *International Journal of Ionics The Science and Technology of Ionic Motion*, vol. 23, no. 6, p. 1613–1617, 2017.
- [15] O. N. Tetra, H. Aziz, E. S. Ibrahim and A. Alif, "REVIEW: SUPERKAPASITOR BERBAHAN DASAR KARBON AKTIF DAN LARUTAN IONIK SEBAGAI ELEKTROLIT," *Jurnal Zarah*, vol. 6, no. 1, p. 43, 2018.
- [16] P. Amrollahi, R. K. Vaidyanathan, J. Krasinski, L. Tayebi and D. Vashaee , *Electrophoretic Deposition (EPD) : Fundamentals And Applications From Nano-to Micro-Scale Structures*, Switzerland : Helmerich Advanced Technology Research Center, 2015.
- [25] H. A. E. S. I. a. a. a. O. N. Tetra, "SUPERKAPASITOR BASED ON ACTIVATED CARBON AND IONIC SOLUTION AS ELECTROLYTE," *Jurnal Zarah*, vol. 6, no. 1, pp. 39-46, 2018.

