

## STUDI PENGGUNAAN BAHAN ALAMI BUAH KAPULAGA (*ELETTARIA CARDAMOMUM*) UNTUK FABRIKASI ELEKTRODA PADA ELEKTROKIMIA KAPASITOR

### *Study of Use Natural Ingredients Cardamom Fruits (Elettaria Cardamomum) for Fabrication of Electrodes on Electrochemical Capacitors*

Muhammad Awaludin Arsyad<sup>1</sup>, Abrar<sup>1</sup>, Indra Wahyudin Fathona<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Telkom University

<sup>1</sup>arsyadsaya@gmail.com, indrafathonah@gmail.com

<sup>2</sup>Abrarselah@gmail.com

---

#### Abstrak

Kapasitor elektrokimia atau superkapasitor merupakan sebuah alat yang menjanjikan dalam penyimpanan energi listrik dengan kapasitansi dan densitas daya yang tinggi yaitu 5 kF[1]. Hal paling penting yang menyebabkan superkapasitor dapat menyimpan muatan adalah luas permukaan elektroda dan material bahan penyusun elektroda tersebut. Elektroda berpori yang memiliki permukaan spesifik yang besar menjadi perhatian yang serius dalam penelitian saat ini. Selain itu, unsur material dari penyusun elektroda tersebut juga menjadi aspek yang mempengaruhi kapasitansi. Mangan oksida merupakan material yang paling banyak digunakan dan paling banyak diteliti untuk menyusun elektroda superkapasitor karena memiliki nilai kapasitansi yang tinggi yaitu 265-320 F/g. Tumbuhan seperti *elettaria cardamomum* merupakan sumber dari bahan mangan yang dapat digunakan untuk membuat elektroda superkapasitor. Proses sederhana yang dilakukan seperti penumbukkan telah dilakukan pada bahan alami yang dipakai dan menghasilkan lapisan tipis elektroda dengan ketebalan yang berukuran mikrometer. Kemudian kinerja dari lapisan tipis elektroda tersebut dievaluasi menggunakan *Cyclic Voltammetry* dan didapatkan nilai kapasitansi spesifik maksimum 0.33 F/g. karakterisasi lapisan tipis elektroda menggunakan SEM dan EDS menunjukkan struktur morfologi permukaan tidak seragam ada yang halus dan ada yang kasar, kandungan Mn hanya 0.05 wt% dan kandungan terbanyak didominasi oleh C sebesar 45.76 wt%.

Kata kunci : Superkapasitor, mangan, elektroda, kapasitansi

---

#### Abstract

*Electrochemical capacitors or supercapacitors are a promising tool for storing electrical energy with high capacitance and power density of 5 kF. The most important thing causes a supercapacitor able to store charge is the electrode surface area and the material that form the electrode. Porous electrodes that have large specific surface are in serious concern on research nowadays. In addition, the material elements of those electrode constituents are also an aspect that affects the capacitance. Manganese Oxide is the most widely used and studied to form supercapacitor electrodes because it has high capacitance of 265-320 F/g. Plants such as *elettaria cardamomum* are sources of manganese which can be used to make supercapacitor electrodes. Simple processes has been done such as mashing on the natural materials that is used and produces thin layer of electrodes in micrometers thicknesses. Then, the performance of those thin layer of electrodes is evaluated using *Cyclic Voltammetry* and obtained maximum capacitance is 0.33 F/g. Characterization of thin electrode layers using SEM and EDS showed that the surface structure of the morphology was not uniform, there was a smooth one and rough one, the content of Mn was only 0.05 wt% and the highest content was dominated by C with 45.76 wt%.*

**Keynote** : *Supercapacitor, manganese, electrode, capacitance.*

---

#### 1. Pendahuluan

Elektrokimia kapasitor atau yang sering disebut superkapasitor merupakan alat yang memiliki kemampuan untuk menyimpan energi listrik dengan kapasitas energi dan kepadatan daya yang cukup

tinggi yaitu 5 kF. Secara sederhana superkapasitor dapat dibuat dengan meletakkan dua konduktor dalam sebuah cairan yang mengandung elektrolit lalu diberikan tegangan, sebagai contoh dua batang karbon yang dimasukkan kedalam gelas kimia yang berisi air garam. Pada umumnya superkapasitor digunakan sebagai daya cadangan ketika daya utama tidak bisa digunakan atau terputus. Selain itu, superkapasitor juga banyak diaplikasikan pada penyimpanan energi untuk kendaraan hibrida, peralatan medis, peralatan elektronik, dan lain-lain[1-3]. Perkembangan saat ini superkapasitor tengah fokus pada elektroda yang lebih baik dengan bahan yang mampu membentuk elektroda dengan kemampuan reversibilitas yang baik dan kapasitansi yang tinggi. Elektroda dengan bahan ruthenium memenuhi syarat sebagai elektroda superkapasitor yang baik, perilaku dari oksida ruthenium pada area asam dan basa menunjukkan sensitivitas yang berbeda. Sebagai contoh oksida ruthenium dalam keadaan amorf pada elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> menunjukkan kapasitansi maksimal sebesar 720 F/g pada kalsinasi dengan suhu 150 °C, sedangkan untuk keadaan kristal pada elektrolit KOH menunjukkan kapasitansi maksimal sebesar 710 F/g dengan kalsinasi pada suhu 200 °C. Namun bahan ruthenium tersebut membutuhkan biaya yang sangat mahal sehingga tidak cocok untuk diproduksi dalam jumlah yang banyak. Maka dari itu, diperlukan bahan yang lain yang lebih murah untuk pembuatan elektroda tersebut[6-7]. Saat ini tengah dilakukan pengembangan secara intensif terkait perilaku elektrokimia dari oksida mangan. Namun mangan oksida yang polos tidak dapat mencapai nilai kapasitansi yang diprediksi dari teori yang mendekati karena konduktivitas dan karakteristik yang buruk. Penelitian yang pernah dilakukan oleh N.Nagaraja, M.Cheong, I.Zhitomirsky mengatakan bahwa Metode elektrokimia dalam pembuatan film oksida bahan mangan amorf yang didapatkan secara anoda yaitu MnOx.nH<sub>2</sub>O menunjukkan kapasitansi spesifik yaitu 265-320 F/g pada potensial 1 V, reversibilitas tinggi, sistem pengisian yang tinggi. Sehingga menghasilkan elektrokimia yang lebih baik. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa oksida mangan merupakan bahan yang tepat untuk pembuatan elektroda dikarenakan jumlahnya yang tersedia banyak di alam, ramah lingkungan, biaya yang dibutuhkan rendah, dan memiliki nilai kapasitansi yang tinggi. Oksida mangan dapat ditemukan pada bahan alami yaitu kapulaga dimana beberapa kandungan yang terdapat dalam kapulaga adalah senyawa polifenol, gula, silikat, protein. Selain itu, terdapat cukup banyak kandungan senyawa mangan pada kapulaga sehingga membuat kapulaga merupakan bahan alami yang cocok digunakan untuk pembuatan elektroda pada superkapasitor karena jumlahnya banyak di alam, mudah didapatkan dan biaya yang relatif rendah[8-10].

## 2. Eksperimen

Pada penelitian ini terdapat beberapa tahap yang dilakukan yaitu,

### 2.1 Pembuatan serbuk dari buah kapulaga

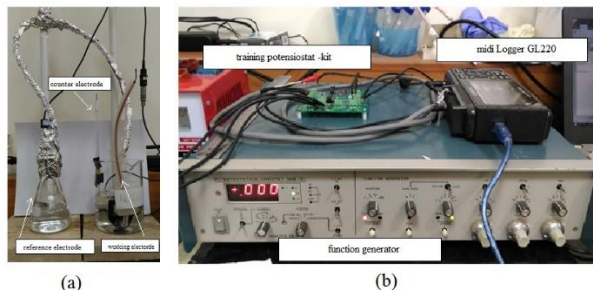
Proses ini merupakan proses awal dalam penelitian yaitu pembuatan serbuk yang nantinya akan digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan lapisan tipis elektroda. kapulaga diambil buahnya lalu dihaluskan sampai berbentuk serbuk yang sangat halus. Kemudian serbuk tersebut diendapkan lalu endapannya dipanaskan pada suhu 100 °C sampai kadar air pada endapan hilang. Setelah itu didapatkan serbuk yang benar benar halus dan siap digunakan.

### 2.2 Pembuatan Lapisan Tipis Elektroda

Proses ini merupakan pembentukan lapisan tipis dari bahan kapulaga yang akan menjadi lapisan elektroda kerja tipis. Pada proses ini serbuk kapulaga yang telah dihaluskan akan ditambahkan *Triethylenetetramine* (TETA) yang merupakan bahan pengikat unsur. Kemudian pencampuran dilakukan dengan beberapa variabel yang diubah seperti variabel massa, variabel rasio serbuk kapulaga terhadap TETA, kemudian variasi pertama yaitu massa dari lapisan tipis elektroda dengan nilai 1, 5 dan 10 mg selanjutnya variasi rasio serbuk terhadap TETA yaitu 1 : 0,5, 1 : 1, 1 : 2, 1 : 4 dan 1 : 6. Pada pembuatannya serbuk halus dengan massa 0.015 mg yang diukur menggunakan timbangan (kern 440-21A, max : 60 g, d : 0.001 g) diletakkan pada alas kaca kemudian ditambahkan TETA menggunakan mikropipet (toppette pipettor 20-200 µl) dengan variasi yang sudah ditentukan campuran tersebut diaduk sampai tercampur menggunakan spatula. Campuran tersebut akan ditambahkan etanol dan diaduk kembali sampai tercampur merata kemudian campuran bahan tersebut dilapiskan pada sebuah substrat yang terbuat dari bahan *stainless steel* dengan diameter 1 cm dan akan dikalsinasi menggunakan *digital hotplate* (HP-2SA) dengan rentang temperatur 25 – 260°C selama 40 menit, dimana nantinya akan

menghasilkan lapisan tipis elektroda dengan bagian halus pada permukaannya terdiri dari nanopartikel dengan diameter elektroda kerja yaitu  $0.5 \text{ cm}^2$ .

### 2.3 Kinerja Elektrokimia dari Lapisan Tipis Elektroda



Gambar 2.1 Implementasi alat (a) Rangkaian jembatan garam dan elektroda kerja, (b) Function generator, potentiostat, dan midi logger GL 220.

Gambar 2.1 merupakan implementasi alat dari pengukuran *cyclic voltammetry*. Proses ini bertujuan untuk mengetahui sifat listrik dan nilai kapasitansi dari lapisan tipis elektroda yang disintesis, dengan metode *cyclic voltammetry* (CV). Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan konfigurasi sel standar tiga elektroda yaitu *counter electrode* (CE) dari *platina wire*, *reference electrode* Ag.AgCl (RE) sebagai jembatan garam dan *working electrode* (WE) dengan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sebagai larutan elektrolit.

Pengujian dilakukan dengan rentang potensial dari 0 sampai 1 V pada tingkat pemindaian dari 10, 50 dan 100 mV/s. Untuk menghitung kapasitansi spesifik digunakan persamaan sebagai berikut,

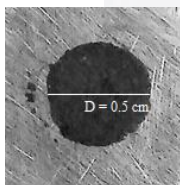
$$C = \frac{1}{m\Delta Vv} \int_{V_i}^{V_f} IdV \quad (1)$$

*Cyclic voltammetry* dilakukan selama 100 siklus, dimana 1 siklus akan dilakukan dari tegangan 0-1 V secara berulang, proses perhitungan kapasitansi seperti pada persamaan (1) dilakukan dengan cara memilih bagian kurva yang stabil dan nilainya tidak berubah. Kurva akan stabil setelah dilakukan pengukuran sebanyak 20-30 siklus.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Hasil Pembuatan Elektroda Kerja

Elektroda kerja dibuat dari campuran beberapa bahan. Gambar 3.1 berikut merupakan gambar dari elektroda kerja yang telah dibuat,



Gambar 3. 1 Lapisan tipis elektroda.

Gambar 3.1 merupakan elektroda kerja yang telah dibuat dengan bahan utamanya yaitu serbuk kapulaga dan kemudian diaplikasikan ke sebuah substrat yang terbuat dari *stainless steel* dengan ukuran 1 x 1 cm dan elektroda kerjanya memiliki diameter  $0.5 \text{ cm}^2$  dan telah dipanaskan pada *hot plate* dengan suhu dari 25 – 260 °C selama 40 menit.

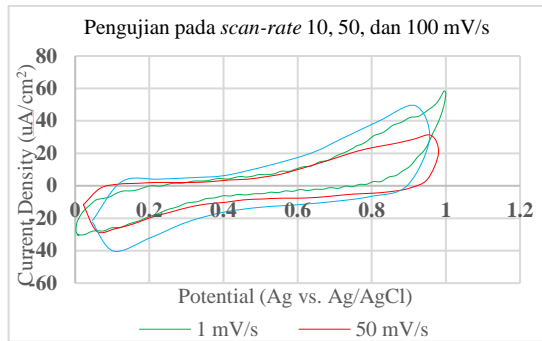
### 3.2 Hasil Pengujian Elektroda Kerja dengan Metode *cyclic voltammetry*

Untuk mengetahui nilai kapasitansi spesifik dari elektroda kerja yang telah dibuat maka akan dilakukan uji elektrokimia. Pengujian elektrokimia dilakukan pada sebuah rangkaian alat seperti yang sudah dijelaskan pada bab 3 dan telah terhubung dengan elektroda kerja kemudian pengujian dilakukan selama 100 siklus dengan merubah tiga variabel yaitu massa, rasio serbuk kapulaga dengan TETA dan *scan-rate* untuk melihat pengaruh dari variasi tersebut terhadap elektroda kerja.

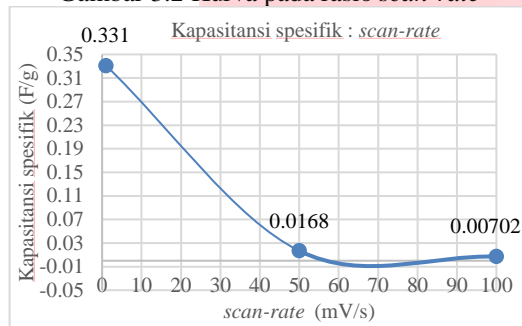
#### 3.2.1 Pengaruh *scan-rate* terhadap kapasitansi spesifik

Pada pengujian ini dilakukan variasi pada *scan-rate* setelah dilakukan uji pada variasi massa dan rasio serbuk-TETA sehingga variabel tetap pada pembuatan sampel pada pengujian ini yaitu massa 1 mg dan

rasio 1: 1 pada siklus ke 100. Gambar 3.2 dan 3.3 berikut merupakan kurva hasil dan nilai kapasitansi spesifik hasil dari pengujian,



Gambar 3.2 Kurva pada rasio scan-rate



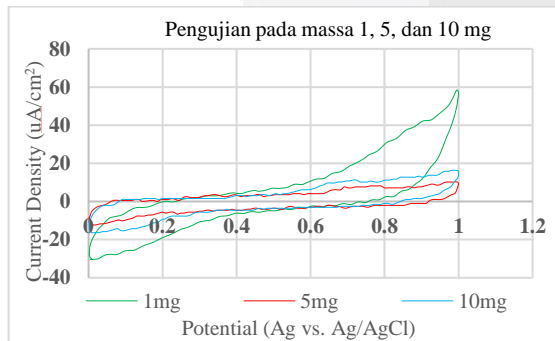
Gambar 3.3 Kurva nilai kapasitansi

Dari gambar 3.2 didapatkan bahwa kurva berbentuk kuasi-persegi panjang yang mendekati simetris dari bentuk tersebut menandakan adanya kapasitansi spesifik pada elektroda kerja. Kurva hasil pengujian pada scan-rate 50 dan 100 mV/s hasilnya lebih halus, sedangkan pada scan-rate 10 mV/s terdapat noise.

Dari gambar 3.3 didapatkan bahwa nilai kapasitansi spesifik dari hasil pengujian dengan scan-rate 10 mV/s sebesar 0.33 F/g, ketika dinaikkan menjadi 50 mV/s sebesar 0.01 dan pada scan-rate 100 mV/s sebesar 0.007 dari hasil tersebut didapatkan informasi bahwa semakin besar scan-rate maka kapasitansi akan semakin menurun. Hal tersebut dapat dikaitkan dengan waktu yang dibutuhkan untuk penyebaran dan penyisipan elektron pada elektroda kerja sehingga semakin lama scan-rate maka elektron yang tersebar dan masuk semakin banyak dan kapasitansipun semakin tinggi.

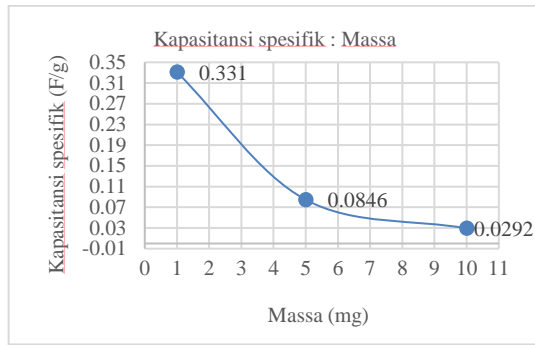
### 3.2.2 Pengaruh massa terhadap kapasitansi spesifik

Pada pengujian ini dilakukan variasi pada massa untuk melihat pengaruh massa terhadap hasil kapasitansi spesifik. Variasi massa pada sampel yang ditentukan yaitu 1, 5 dan 10 mg. Pada variasi ini hanya variabel massa yang diubah sesuai dengan yang ditentukan dengan variabel tetap yaitu rasio serbuk-TETA (1 : 1) dan scan-rate 10 mV/s pada rangkaian alat. Kemudian pengujian pada elektrokimia dilakukan selama 100 siklus. Data diambil pada siklus ke 100. Gambar 3.4 dan 3.5 berikut merupakan kurva hasil dan nilai kapasitansi spesifik dari pengujian,



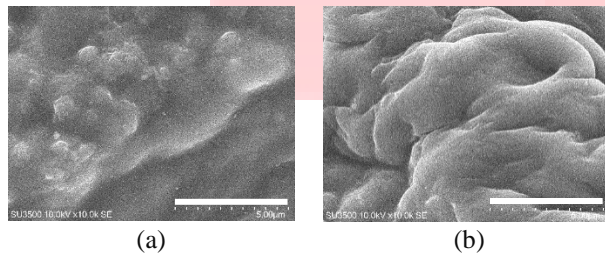
Gambar 3.4 kurva pada rasio massa

Dari gambar 3.4 merupakan kurva rapat arus ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) terhadap potensial (Ag vs. Ag/AgCl) dan terdapat kurva perbandingan antara massa 1, 5 dan 10 mg pada siklus ke 100. Dari gambar tersebut didapatkan bahwa kurva berbentuk kuasi-persegi panjang yang mendekati simetris dari bentuk tersebut terdapat adanya kapasitansi spesifik pada elektroda kerja. Kemudian kurva pada elektroda kerja dengan massa 1 mg memiliki rapat arus yang paling besar.



Gambar 3.5 kurva nilai kapasitansi

Kemudian pada elektroda kerja dilakukan uji SEM untuk mengetahui struktur morfologinya. Gambar 3.6 merupakan hasil uji SEM pada elektroda kerja,



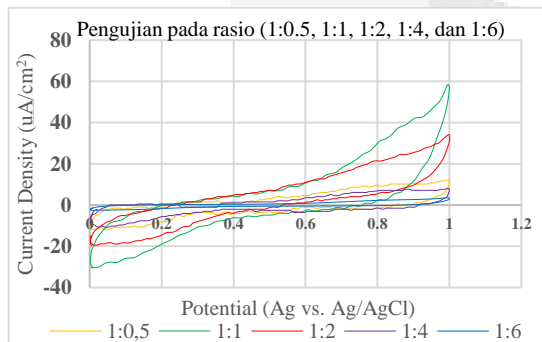
Gambar 3.6 Hasil uji SEM (a) massa 1 mg dan (b) massa 10 mg

Gambar 3.5 hasil nilai kapasitansi spesifik dari variasi massa. Data yang didapat dari pengujian cv kemudian diolah dan dimasukkan ke persamaan (1). Nilai kapasitansi spesifik pada lapisan tipis elektroda dengan massa 1 mg sebesar 0.33 F/g, setelah massa dinaikkan menjadi 5 mg kapasitansi berubah sebesar 0.84 F/g dan pada massa 10 mg kapasitansi dihasilkan sebesar 0.02 F/g. Elektroda kerja dengan massa 1 mg memiliki nilai kapasitansi spesifik paling besar yaitu 0.33 F/g.

Gambar 3.6 Merupakan hasil uji SEM pada elektroda kerja. Gambar (a) massa 1 mg dan (b) massa 10 mg. Pada gambar terlihat bahwa elektroda kerja dengan massa 1 mg memiliki struktur permukaan yang lebih halus dan terdapat kumpulan partikel, sedangkan pada massa 10 mg terlihat lebih padat dan tidak terdapat partikel.

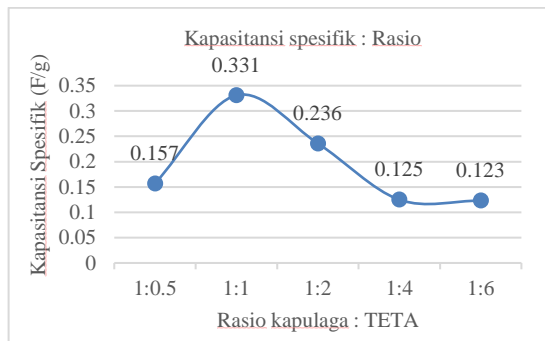
### 3.3.3 Pengaruh rasio serbuk-TETA terhadap kapasitansi spesifik

Pada pengujian ini dilakukan variasi pada rasio serbuk dengan TETA untuk melihat pengaruh penambahan TETA terhadap hasil kapasitansi spesifik. Variasi dilakukan pada pembuatan elektroda kerja dengan menambahkan TETA pada campuran, penambahan TETA sesuai dengan rasio yang telah ditentukan yaitu (1:0.5, 1:1, 1:2, 1:4, dan 1:6) dengan massa serbuk yaitu 0,03 mg ditambahkan TETA sebesar 0.15 µl pada rasio 1:0.5, 30 µl pada rasio 1:1, 60 µl pada rasio 1:2, 120 µl pada rasio 1:4 dan 180 µl pada rasio 1:6 dan penambahan etanol 15 µl pada semua variasi. Dengan variabel tetap massa 1 mg dan scan-rate 100 mV/s. Gambar 3.7 dan 3.8 berikut merupakan kurva hasil dan nilai kapasitansi spesifik dari pengujian,



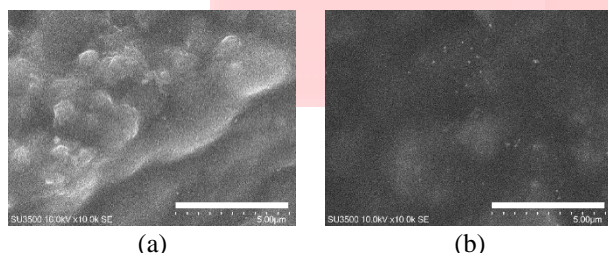
Gambar 3.7 kurva pada rasio serbuk:TETA

Gambar 3.7 merupakan kurva rapat arus ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) terhadap potensial (Ag vs. Ag/AgCl) dan terdapat kurva perbandingan antara rasio antara serbuk-TETA (1:0.5, 1:1, 1:2, 1:4, dan 1:6) pada siklus ke 100. Dari gambar tersebut elektroda kerja dengan rasio 1:1 memiliki rapat arus yang paling besar.



Gambar 3.8 kurva nilai kapasitansi

Kemudian pada elektroda kerja dilakukan uji SEM untuk mengetahui struktur morfologinya. Gambar 3.9 merupakan hasil uji SEM pada elektroda kerja,



Gambar 3.9 Hasil uji SEM pada (a) rasio 1:1 dan (b) rasio 1:6 (serbuk:TETA)

Gambar 3.8 merupakan kurva nilai kapasitansi spesifik pada elektroda kerja dan didapatkan bahwa lapisan tipis elektroda dengan rasio 1:0.5 memiliki nilai kapasitansi spesifik sebesar 0.15 F/g, pada rasio 1:1 sebesar 0.33 F/g, pada rasio 1:2 sebesar 0.23 F/g, pada rasio 1:4 sebesar 0.12 dan rasio 1:6 sebesar 0.12. elektroda kerja dengan rasio 1:1 memiliki nilai kapasitansi spesifik paling besar yaitu 0.33 F/g karena pada rasio 1:1 lapisan tipis elektroda kerja melakukan reaksi transfer ion dengan proses elektrokimia secara maksimum.

Gambar 3.9 merupakan hasil uji SEM pada elektroda kerja. Gambar (a) rasio 1:1 dan (b) rasio 1:6 (serbuk:TETA). Terlihat bahwa pada gambar (a) terdapat partikel yang berkumpul dan permukaan cukup kasar jika dibandingkan dengan gambar (b) yang terlihat lebih halus dan tidak terdapat partikel pada permukaannya.

#### 4. Kesimpulan

Elektroda kerja berbasis bahan alami kapulaga memiliki nilai kapasitansi 0.007, 0.016, 0.029, 0.08, 0.123, 0.125, 0.157, 0.236 dan 0.331 F/g. Nilai kapasitansi spesifik dari elektroda kerja yang paling maksimum pada spesifikasi massa 1 mg, rasio serbuk kapulaga terhadap TETA (1 : 1) dan scan-rate 10 mV/s yaitu 330 µF. Dari hasil tersebut elektroda kerja yang didapat dari campuran antara serbuk kapulaga dengan TETA belum bisa mencapai kategori superkapasitor dan hanya masuk ke kategori kapasitor elektrolit biasa dengan range nilai kapasitansi yaitu 100-470 µF.

### Daftar Pustaka

1. I.W. Fathona, A. Yabuki, Multi-plate, thin-film electrodes of manganese oxide synthesized via the thermal decomposition of a manganese-amine complex for use as electrochemical supercapacitors, *Electrochim. Acta.* (n.d.).
2. J.R. Miller, P. Simon, Fundamentals of electrochemical capacitor design and operation, *Electrochem. Soc. Interface.* 17 (2008) 31.
3. R. de Levie, On porous electrodes in electrolyte solutions, *Electrochim. Acta.* 8 (1963) 751–780. doi:http://dx.doi.org/10.1016/0013-4686(63)80042-0.
4. N. Nagarajan, M. Cheong, I. Zhitomirsky, Electrochemical capacitance of MnOx films, *Mater. Chem. Phys.* 103 (2007) 47–53. doi:10.1016/j.matchemphys.2007.01.005.
5. M.-J. Deng, P.-J. Ho, C.-Z. Song, S.-A. Chen, J.-F. Lee, J.-M. Chen, K.-T. Lu, Fabrication of Mn/Mn oxide core-shell electrodes with three-dimensionally ordered macroporous structures for high-capacitance supercapacitors, *Energy Environ. Sci.* 6 (2013) 2178–2185. doi:10.1039/C3EE40598B.
6. B. Conway, *Electrochemical supercapacitors*, Scientific, Kluwer Academic Plenum Publishers, New York, 1999.
7. Z. Yu, B. Duong, D. Abbitt, J. Thomas, Highly ordered MnO<sub>2</sub> nanopillars for enhanced supercapacitor performance, *Adv. Mater.* 25 (2013) 3302–3306. doi:10.1002/adma.201300572.
8. N. Nagarajan, H. Humadi, I. Zhitomirsky, Cathodic electrodeposition of MnOx films for electrochemical supercapacitors, *Electrochim. Acta.* 51 (2006) 3039–3045. doi:10.1016/j.electacta.2005.08.042.
9. M.-J. Deng, P.-J. Ho, C.-Z. Song, S.-A. Chen, J.-F. Lee, J.-M. Chen, K.-T. Lu, Fabrication of Mn/Mn oxide core-shell electrodes with three-dimensionally ordered macroporous structures for high-capacitance supercapacitors, *Energy Environ. Sci.* 6 (2013) 2178–2185. doi:10.1039/C3EE40598B.
10. T.M. Ansari, N. Ikram, M. Najam-ul-Haq, I. Fayyaz, Q. Fayyaz, I. Ghafoor, N. Khalid, Essential Trace Metals (Zinc, Manganese, Copper and Iron) Levels in Plants of Medicinal Importance, *J. Biol. Sci.* 4 (2004) 95–99.
11. Wang, G., Zhang, L., & Zhang, J. (2011). *A review of electrode materials for electrochemical supercapacitors*, 798.
12. M. J. B S Murty, P Shankar, Raj Baldev, B B Rath, *Textbook of Nanoscience and Nanotechnology*. Springer, 2013.