

**STUDI PENGGUNAAN BAHAN ALAMI BIJI KETUMBAR (*CORIANDRUM SATIVUM*),
DAUN PEPEYA (*CARICA PAPAYA*), DAN KULIT PISANG (*MUSA PARADISIACA*)
SEBAGAI PENGKELAT UNTUK APLIKASI ELEKTRODA SUPERKAPASITOR**

***STUDY OF USE NATURAL INGREDIENTS CORIANDER SEEDS (*CORIANDRUM SATIVUM*),
PAPAYA LEAF (*CARICA PAPAYA*), AND BANANA PEEL (*MUSA PARADISIACA*) FOR ELECTRODE SUPERCAPACITOR APPLICATION***

Amadhea Salsabila Gita Utami, Abrar*, Indra Wahyudin Fathonah**
Program Studi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
amadheasalsabila@student.telkomuniversity.ac.id, *abrarselah@telkomuniversity.ac.id,
****indrafathonah@telkomuniversity.ac.id**

Abstrak

Superkapasitor merupakan perangkat penyimpanan energi yang memiliki kapasitansi spesifik tinggi, kerapatan energi spesifik yang tinggi serta siklus hidup yang panjang. Superkapasitor memiliki mekanisme penyimpanan muatan yang bekerja secara bersamaan, yaitu pseudokapasitif dan *double layer*. Keduanya memberikan kontribusi terhadap nilai total kapasitansi spesifik superkapasitor tersebut. Mangan merupakan bahan yang banyak digunakan dan banyak diteliti untuk pembuatan elektroda superkapasitor. Unsur mangan dapat diperoleh dari bahan-bahan kimia seperti mangan sulfat. Elektroda superkapasitor berbahan dasar serbuk mangan sulfat dibuat dengan mencampurkan $MnSO_4$ dengan ekstrak bahan alami yang berfungsi sebagai pereduksi dan TETA sebagai agen pengompleks. Bahan-bahan alami yang digunakan untuk fabrikasi elektroda superkapasitor, yaitu biji ketumbar (*coriandrum sativum*), daun pepaya (*carica papaya*), dan kulit pisang (*musa paradisiaca*). Lapisan tipis elektroda kerja diuji kinerja elektrokimianya menggunakan *cyclic voltammetry* dan didapatkan nilai kapasitansi spesifik maksimum pada campuran $MnSO_4$ dengan ekstrak kulit pisang massa 1 mg, yaitu sebesar 43.1 F/g. Karakterisasi morfologi dengan SEM pada perbesaran 10000 – 50000 kali menunjukkan hasil ukuran tiap partikel pada lapisan tipis sebesar 10 – 50 μm . Selanjutnya pengujian lapisan tipis dengan XRD didapat puncak tertinggi unsur mangan pada posisi $2\theta = 44.62^\circ$ untuk ekstrak kulit pisang dan $2\theta = 44.73^\circ$ untuk ekstrak biji ketumbar.

Kata kunci : Superkapasitor, mangan, bahan-bahan alami, kapasitansi spesifik.

Abstract

Supercapacitor is an energy storage device which has high specific capacitances, specific energy density also long life cycle. Supercapacitor has mechanism load storage which work a long, pseudocapacitif and double layer. Both of them give contribution to the total of the supercapacitor specific capacitance. Mangan is form which mostly used and has researched to make supercapacitor electrode. Mangan can be found from chemical ingredients such as mangan sulfat. Supercapacitor electrode form of mangan sulfat powder is made by mixing $MnSO_4$ with natural ingredients extract that function as reducing agent and TETA as complainant agent. The natural ingredients use for supercapacitor electrode fabrication, are coriander seeds (*coriandrum sativum*), papaya leaf (*carica papaya*), and banana peel (*musa paradisiaca*). The thin layer of the electrode is tested the electrochemistry performance using cyclic voltammetry and obtain the maximum of specific capacitance in the mixture $MnSO_4$ with banana peel extract mass 1 mg, at 43.1 F/g. Morphological characterization using SEM at magnification 10000 – 50000 times obtained the size of each particle is about 10 – 50 μm . Then crystallinity characterization using XRD obtained the highest peak of mangan in position $2\theta = 44.62^\circ$ for banana peel extract and $2\theta = 44.73^\circ$ for coriander seeds extract.

Keywords : Supercapacitor, mangan, natural ingredients, specific capacitance.

1. Pendahuluan

Superkapasitor merupakan perangkat penyimpan energi yang menjanjikan untuk penggunaannya pada teknologi masa depan karena memiliki kapasitansi spesifik yang tinggi, kerapatan energi spesifik yang tinggi serta siklus hidup yang panjang. Hal ini menjadikan superkapasitor dikembangkan secara intensif. Superkapasitor tidak membutuhkan waktu yang lama untuk pengisian dan memiliki kepadatan daya mencapai sepuluh kali lipat dibandingkan baterai sekunder. Meskipun begitu, superkapasitor tetap memiliki kekurangan, yaitu kepadatan energi yang lebih

rendah dari baterai sekunder. Perkembangan superkapasitor saat ini berfokus pada kecanggihan dan kehandalan material elektroda yang dapat menunjukkan kinerja maksimal dengan kapasitansinya yang tinggi dan memiliki reversibilitas yang baik [1-3]. Ruthenium merupakan salah satu material yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan elektroda superkapasitor karena memiliki nilai kapasitansi spesifik, yaitu mencapai 720 F/g. namun bahan ruthenium tidak cocok untuk diproduksi dalam jumlah banyak dikarenakan bahan yang sulit didapat dan membutuhkan biaya yang tidak murah. Oleh karena itu dibutuhkan bahan seperti mangan yang dapat menggantikan ruthenium sebagai elektroda superkapasitor karena mudah didapat dan biaya yang diperlukan lebih murah. Salah satu sumber mangan yang telah diteliti adalah mangan oksida yang memiliki nilai kapasitansi spesifik sebesar 1300 – 1370 F/g [4,5]. Selanjutnya penggunaan bahan-bahan alami dalam pembuatan elektroda superkapasitor bertujuan agar proses lebih ramah lingkungan dengan tetap menghasilkan kapasitansi spesifik tinggi. Sebelumnya telah diteliti tiga jenis tanaman berbeda, yaitu jahe, kapulaga, dan putri malu. Ketiga bahan tersebut dibuat menjadi serbuk menggunakan metode hidrotermal karena metode tersebut dapat menghasilkan tingkan kemurnian yang lebih tinggi. Ketiga penelitian tersebut menghasilkan elektroda superkapasitor dengan nilai kapasitansi spesifik yang relatif kecil, yaitu untuk jahe sebesar 0.12 F/g, kapulaga sebesar 0.33 F/g, dan untuk putri malu sebesar 0.113 F/g [6-8]. Selanjutnya pada penelitian ini bahan-bahan alami lainnya seperti biji ketumbar (*coriandrum saativum*), daun pepaya (*carica papaya*), dan kulit pisang (*musa paradisiaca*) digunakan sebagai pengkelat pada elektroda superkapasitor dengan bahan dasar mangan sulfat. Bahan-bahan alami ini dipilih berdasarkan kandungan mineral yang dimilikinya. Kandungan mineral yang paling penting yang harus terkandung pada bahan alami tersebut adalah yang memiliki gugus OH. Gugus OH nantinya berfungsi sebagai pereduksi dan sekaligus sebagai pengkelat pada fabrikasi elektroda superkapasitor.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Fabrikasi Elektroda Superkapasitor

Proses pertama dalam fabrikasi elektroda superkapasitor adalah mencampurkan serbuk mangan sulfat dengan ekstrak bahan alami sampai menjadi campuran yang homogen. Ekstrak bahan alami diperoleh dengan merebus bahan alami tersebut pada waktu dan suhu yang telah ditentukan. Hasil perebusan bahan alami tersebut kemudian disaring sehingga akan diperoleh ekstrak dari rebusan bahan alami tersebut. Kemudian campuran dari mangan sulfat dan ekstrak bahan alami tersebut ditambahkan TETA lalu dicampurkan lagi sampai merata. Hasil campuran tersebut kemudian ditetaskan pada substrat stainless steel dengan panjang dan lebar 1 x 1 cm yang telah diberi cetakan agar tetesan tersebut berbentuk lingkaran dengan diameter 0.5 cm. Selanjutnya substrat stainless steel tersebut dipanaskan menggunakan *digital hotplate* (HP-2SA) pada suhu 270°C selama 30 menit.

2.2 Pengukuran dan Karakterisasi Elektroda Superkapasitor

2.2.1 Pengukuran *Cyclic Voltammetry*

Cyclic voltammetry (CV) dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kinerja elektrokimia dan nilai kapasitansi spesifik dari lapisan tipis elektroda kerja yang telah dibuat. Rangkaian alat pengukur pada metode ini terdiri dari *training potensioestat-kit* (1-1 EC Frontier, Inc), potensioestat (HAB-151) sebagai *function generator* serta data *logger* (graptech GL-220) yang terhubung dengan laptop untuk menampilkan data dalam bentuk siklus. Pengukuran dilakukan pada rentang potensial 0 – 1 V pada tingkat pemindaian dari 1, 10, 50, dan 100 mV/s selama 50 siklus.

2.2.2 Karakterisasi Morfologi dan Kristalinitias Lapisan Tipis

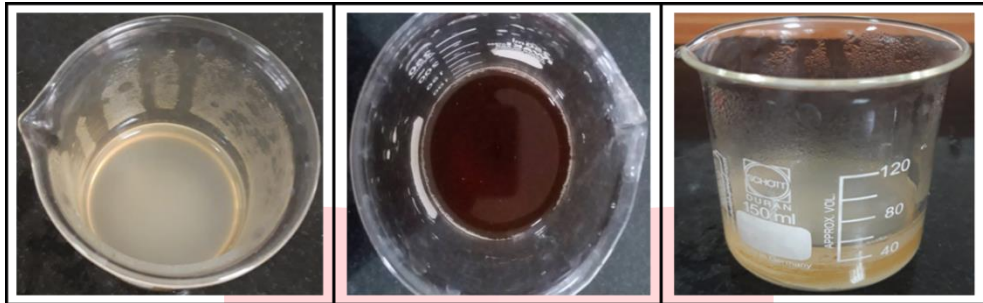
Elektroda kerja yang telah dihasilkannya selanjutnya dikarakterisasi struktur morfologinya menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM) serta karakterisasi kristalinitas menggunakan *x-ray diffraction* (XRD) yang bertujuan untuk mengetahui struktur kristal pada bahan tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pembuatan Ekstrak Bahan Alami

Gambar 1(a) merupakan ekstrak kulit pisang yang didapatkan dengan merebus kulit pisang sebanyak 25 g dengan 100 ml aquades pada suhu 90°C selama 30 menit. Kulit pisang tersebut sebelumnya telah dicuci pada air mengalir kemudian dipotong kecil-kecil. Hasil rebusan kulit pisang kemudian disaring menggunakan kertas saring *Whatmann* No. 1. Selanjutnya Gambar 1(b) merupakan ekstrak biji ketumbar yang diperoleh dari proses perendaman biji ketumbar sebanyak 25

g dalam 50 ml aquades selama 24 jam di tempat tertutup. Biji ketumbar yang digunakan sebelumnya telah dicuci pada air mengalir. Perendaman bertujuan untuk mendapatkan sari-sari yang terkandung pada biji ketumbar. Biji ketumbar yang telah direndam kemudian disaring menggunakan kertas saring *Whatmann* No. 1. Kemudian Gambar 1(c) merupakan ekstrak daun pepaya yang didapat dengan merebus daun pepaya sebanyak 50 g yang telah dicuci dan dipotong kecil-kecil. Daun pepaya direbus pada suhu 90°C selama 30 menit. Hasil rebusan tersebut kemudian disaring menggunakan kertas saring *Whatmann* No. 1. Ketiga ekstrak bahan alami tersebut dibuat untuk langsung digunakan dikarenakan proses didiamkan atau disimpan pada suhu kamar atau lemari es dapat mempengaruhi kandungan pada ekstrak bahan alami tersebut.



Gambar 1 a) Ekstrak kulit pisang, b) ekstrak biji ketumbar, dan c) ekstrak daun pepaya.

3.2 Hasil Pembuatan dan Pengujian Lapisan Tipis Elektroda Kerja

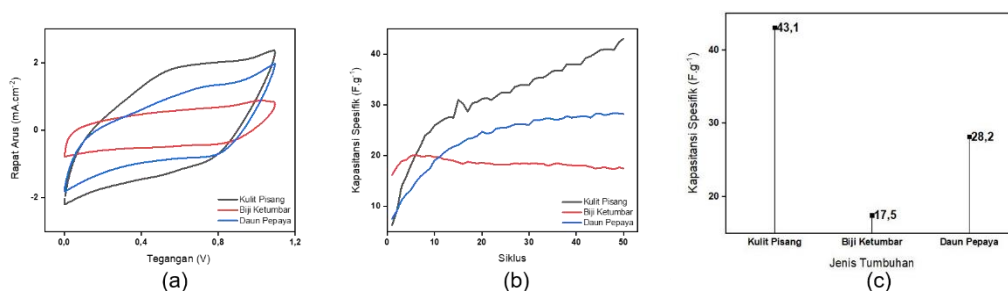
Lapisan tipis elektroda kerja dibuat dengan mencampurkan ekstrak masing-masing bahan alami dengan MnSO_4 pada pelat kaca sampai campuran menjadi homogen. Kemudian campuran ditambahkan dengan TETA sampai tercampur rata. Konsentrasi ketiga bahan tersebut disesuaikan dengan variasi pengujian. Hasil campuran tersebut kemudian diaplikasikan pada sebuah substrat stainless steel berukuran 1 x 1 cm dengan diameter lapisan tipis elektroda sebesar 0.5 cm. Kemudian substrat stainless steel tersebut dipanaskan menggunakan digital hotplate dengan suhu dari 25 – 270 °C selama 30 menit. Elektroda kerja yang telah dibuat selanjutnya diuji kinerja elektrokimianya menggunakan metode *cyclic voltammetry* hingga didapat data sebanyak 50 siklus. Data hasil pengujian yang diperoleh berupa tegangan yang kemudian dikonversi menjadi rapat arus dan selanjutnya dilakukan perhitungan nilai kapasitansi spesifik tiap siklus. Siklus ke – 50 akan dijadikan nilai perbandingan tiap variasi dikarenakan pada siklus tersebut pengujian sudah dalam keadaan stabil. Lapisan tipis elektroda kerja dibuat dengan variasi tertentu yang bertujuan untuk melihat pengaruh variasi terhadap nilai kapasitansi spesifik.

3.2.1 Variasi Jenis Tumbuhan



Gambar 2 Elektroda kerja a) ekstrak kulit pisang, b) ekstrak biji ketumbar, c) ekstrak biji ketumbar.

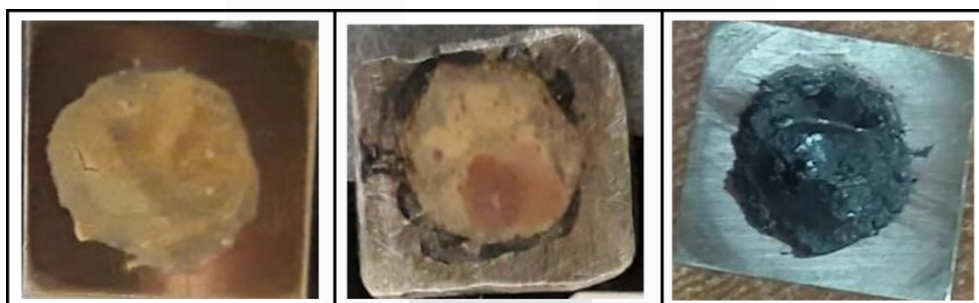
Gambar 2 merupakan elektroda kerja dengan variasi tumbuhan. Ekstrak dari masing-masing bahan alami sebanyak 300 μl dicampurkan dengan 0.305 g MnSO_4 hingga tercampur merata. Kemudian campuran tersebut ditambahkan 100 μl TETA dan dicampurkan sampai campuran menjadi homogen. Selanjutnya elektroda kerja dipanaskan pada suhu dan rentang waktu yang telah dijelaskan sebelumnya. Elektroda kerja kemudian diuji menggunakan metode cv sehingga menghasilkan data berikut.



Gambar 3 (a) Kurva pengisian dan pengosongan elektroda kerja, (b) kapasitansi spesifik selama 50 siklus, dan (c) kapasitansi spesifik siklus ke – 50.

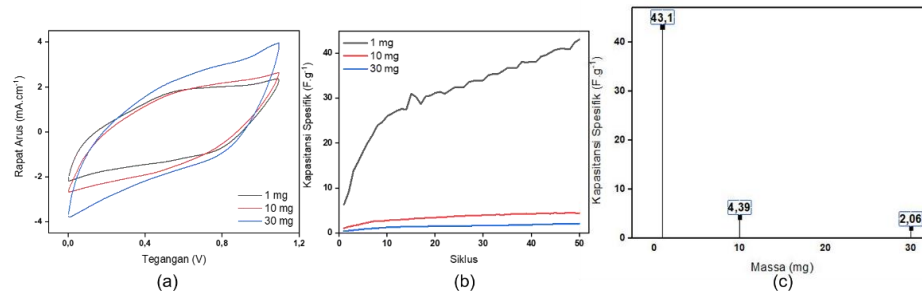
Kurva dan grafik pada Gambar 3 memperlihatkan hasil pengukuran yang cukup jelas berbeda antara ketiga ekstrak bahan alami tersebut. Ekstrak kulit pisang menunjukkan adanya kapasitansi spesifik yang paling besar dibandingkan kedua ekstrak bahan alami lainnya. Data yang diperoleh pada pengukuran tersebut kemudian diolah menggunakan *Microsoft Excel* dan *Scilab* untuk mendapatkan nilai kapasitansi spesifik. Hasil pengukuran dan pengolahan data diperoleh nilai kapasitansi spesifik tertinggi pada ekstrak bahan alami kulit pisang, yaitu sebesar 43.1 F/g sedangkan nilai kapasitansi spesifik untuk elektroda kerja ekstrak biji ketumbar dan daun pepaya masing-masing adalah sebesar 17.5 dan 28.2 F/g. Berdasarkan Gambar b, elektroda kerja kulit pisang menunjukkan grafik yang terus meningkat di tiap siklusnya dan memiliki kemungkinan akan terus meningkat mencapai nilai stabilnya. Grafik elektroda kerja biji ketumbar menunjukkan grafik yang terus menurun dikarenakan lapisan tipis pada elektroda kerja larut dalam larutan Na_2SO_4 seiring lamanya waktu pengujian. Sedangkan elektroda kerja daun pepaya menunjukkan grafik yang mulai stabil pada siklus ke - 20. Perbedaan nilai kapasitansi spesifik yang diperoleh dari pengukuran tiap-tiap elektroda kerja tersebut disebabkan oleh kandungan dari tiap bahan alami yang berbeda-beda sesuai dengan kadar kandungannya masing-masing.

3.2.2 Variasi Massa dengan Ekstrak Kulit Pisang



Gambar 4 Elektroda kerja variasi massa a) 1 mg, b) 10 mg, c) 30 mg.

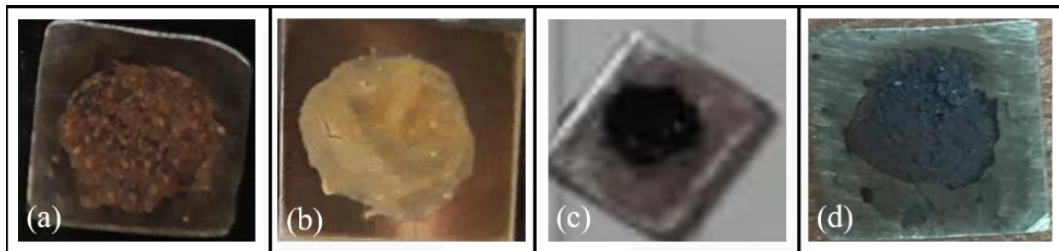
Pembuatan lapisan tipis dengan variasi massa dilakukan untuk melihat pengaruh massa terhadap kapasitansi spesifik elektroda kerja. Variasi ini dibuat setelah mendapatkan nilai kapasitansi spesifik tertinggi dari elektroda kerja variasi tumbuhan. Pada penelitian ini diperoleh nilai kapasitansi spesifik tertinggi pada elektroda kerja BPE, yaitu sebesar 43.1 F/g. Massa yang digunakan adalah 1, 10, dan 30 mg dengan konsentrasi MnSO_4 , ekstrak kulit pisang, dan TETA yang tetap. Perbedaan massa tersebut adalah massa sampel yang diaplikasikan pada substrat *stainless steel*.



Gambar 5 (a) Kapasitansi spesifik rata-rata 50 siklus, (b) kurva pengisian dan pengosongan elektroda kerja, dan (c) kapasitansi spesifik tiap siklus.

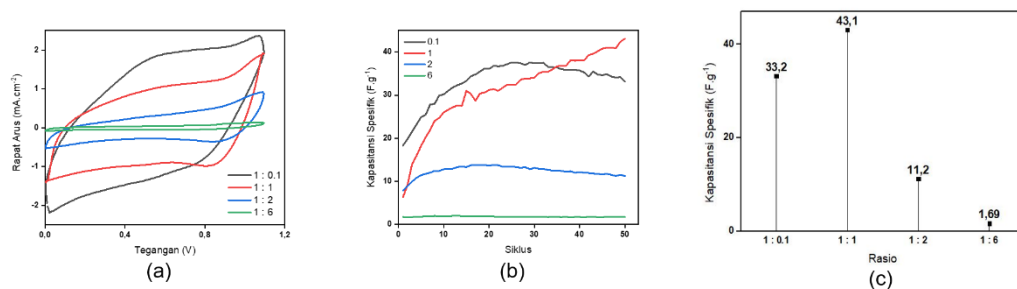
Berdasarkan kurva Gambar 5 (b), elektroda kerja dengan massa 1 mg menghasilkan nilai kapasitansi sebesar 43.1 F/g. Kemudian elektroda kerja dengan massa sampel 10 dan 30 mg menghasilkan nilai kapasitansi spesifik masing-masing adalah sebesar 4.39 F/g dan 2.06 F/g. Data yang diperoleh tersebut menunjukkan informasi bahwa semakin besar massa sampel maka akan mengurangi nilai kapasitansi spesifik dikarenakan massa yang semakin besar menyebabkan ketebalan sampel juga akan bertambah yang berakibat pada penurunan nilai kapasitansi spesifik. Hal tersebut diakibatkan oleh transfer elektron yang hanya terjadi pada bagian luar elektroda kerja dan elektron tidak mudah bergerak ke bagian dalam elektroda kerja yang lebih dengan stainless steel. sedangkan pada massa 1 mg transfer elektron terjadi sampai ke permukaan bagian dalam dikarenakan lapisan sampel yang tipis sehingga mempercepat respon aliran listrik yang masuk.

3.2.3 Variasi Rasio



Gambar 6 Elektroda kerja variasi rasio (a) 1 : 0.1, (b) 1 : 1, (c) 1 : 2, dan (d) 1 : 6.

Elektroda kerja dengan variasi rasio dibuat setelah didapat nilai kapasitansi spesifik dari elektroda kerja dengan variasi massa. Pada variasi massa dengan bahan alami ekstrak kulit pisang diperoleh kapasitansi spesifik tertinggi pada massa 1 mg. Maka dari itu, massa yang digunakan pada variasi rasio ini adalah 1 mg dengan konsentrasi ekstrak kulit pisang yang diubah-ubah. Variasi rasio ini merupakan perbandingan antara MnSO₄ dengan ekstrak kulit pisang, yaitu 1 : 0.1, 1 : 1, 1 : 2, dan 1 : 6. Konsentrasi TETA pada variasi ini tetap, yaitu 100 μ l. Pengujian variasi ini dilakukan untuk melihat pengaruh penambahan ekstrak bahan alami terhadap kapasitansi spesifik elektroda kerja.



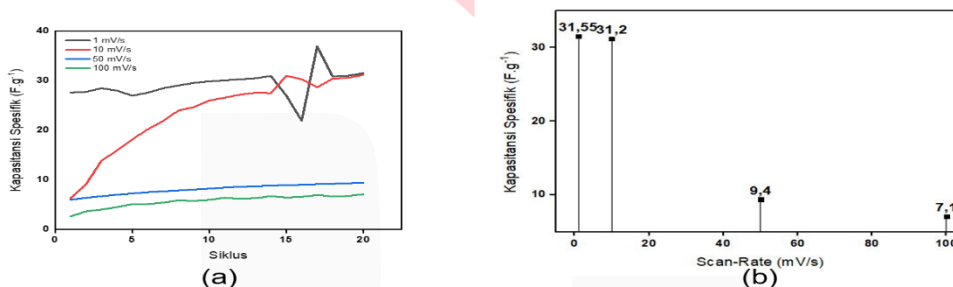
Gambar 7 (a) Kurva pengisian dan pengosongan elektroda kerja, (b) kapasitansi spesifik selama 50 siklus, dan (c) kapasitansi spesifik siklus ke – 50.

Gambar 7(c) menampilkan data pada variasi rasio 1 : 0.1, 1 : 1, 1 : 2, dan 1 : 6 nilai kapasitansi spesifik masing-masing adalah sebesar 33.2, 43.1, 11.2, dan 1.69 F/g. Pada 1 : 1 nilai kapasitansi spesifik terus menunjukkan peningkatan sampai siklus ke 50. Pada rasio 1 : 0.1 dan 1 : 2 nilai kapasitansi spesifik cenderung mengalami penurunan dikarenakan lapisan tipis pada elektroda kerja yang larut dalam larutan Na_2SO_4 selama pengujian. Sedangkan pada rasio 1 : 6 nilai kapasitansi spesifik cenderung stabil mulai siklus awal tetapi menunjukkan nilai yang sangat kecil dibandingkan dengan rasio lainnya.

Pengujian rasio ini menunjukkan adanya pengaruh penambahan ekstrak bahan alami dalam pembuatan elektroda kerja. Ekstrak bahan alami sangat mempengaruhi nilai kapasitansi spesifik dikarenakan kandungan mineral yang terkandung pada bahan alami tersebut. Pada kulit pisang terkandung berbagai macam mineral seperti air, lemak, protein, karbohidrat, dan beberapa mineral lainnya. Hal tersebut mempengaruhi proses kimia yang terjadi saat pencampuran antara MnSO_4 dengan ekstrak kulit pisang. Kadar air dan karbohidrat yang cukup besar dalam kulit pisang memungkinkan adanya unsur mangan yang terikat lebih banyak dibanding ekstrak lainnya.

3.2.4 Variasi Scan-Rate

Elektroda kerja dengan nilai tertinggi pada pengujian variasi tumbuhan, massa, dan rasio digunakan untuk dilakukan variasi *scan-rate*. Variasi ini dilakukan menggunakan sampel-sampel elektroda kerja baru untuk melihat pengaruh tingkat pemindaian pada nilai kapasitansi spesifik. Elektroda kerja dibuat dengan mencampurkan 300 μl ekstrak kulit pisang dan 0.305 g MnSO_4 kemudian ditambahkan TETA sebanyak 100 μl . Massa sampel yang digunakan adalah 1 mg. Variasi *scan-rate* yang digunakan adalah 1, 10, 50, dan 100 mV/s.



Gambar 8 (a) Kapasitansi spesifik selama 50 siklus dan (b) kapasitansi spesifik siklus ke – 50.

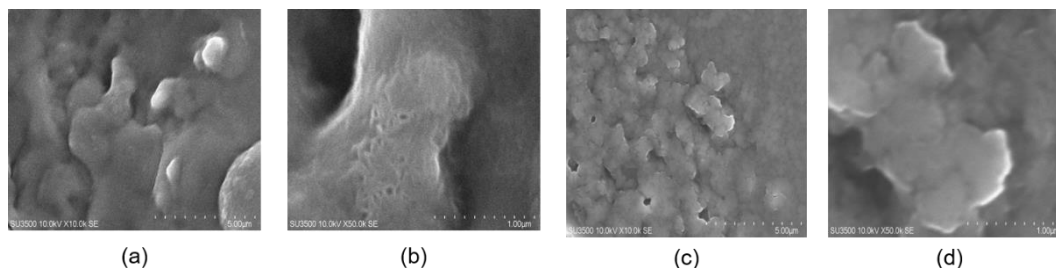
Berdasarkan grafik Gambar 8 didapat bahwa nilai kapasitansi spesifik pada *scan-rate* 1 mV/s adalah sebesar 31.55 F/g. Kemudian ketika *scan-rate* dinaikkan menjadi 10 mV/s, nilai kapasitansi spesifik elektroda kerja menjadi 31.2 F/g. Nilai kapasitansi spesifik untuk *scan-rate* 50 dan 100 mV/s masing-masing adalah 9.4 dan 7.1 F/g. Dari data pengujian diperoleh hasil bahwa nilai kapasitansi spesifik maksimum adalah pada *scan-rate* 1 mV/s, yaitu 31.55 F/g. Pada *scan-rate* 1 dan 10 mV tidak terlihat perbedaan nilai kapasitansi spesifik yang signifikan hanya saja pada siklus ke 20 nilai kapasitansi spesifik *scan-rate* 1 mV/s tetap lebih besar dibanding dengan *scan-rate* 10 mV/s.

Berdasarkan data tersebut didapat informasi bahwa semakin besar tingkat pemindaian atau *scan-rate*, maka nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan dari elektroda kerja akan semakin kecil. Hal tersebut dikarenakan setiap elektron yang menyebar dan menyisip pada elektroda kerja dipengaruhi oleh waktu. Semakin lama proses penyebaran dan penyisipan elektron pada elektroda kerja, elektron yang masuk akan semakin banyak dan mengakibatkan nilai kapasitansi spesifik yang semakin tinggi.

3.3 Karakterisasi Lapisan Tipis Elektroda Kerja

3.3.1 Karakterisasi Elektroda Kerja dengan Scanning Electron Microscope (SEM)

SEM dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui struktur morfologi yang terbentuk pada elektroda kerja yang telah dibuat. Sampel yang diuji struktur morfologinya adalah dengan pengkelat biji ketumbar dan kulit pisang masing-masing pada massa 1 mg dan rasio 1 : 1. Pemilihan sampel yang diuji SEM berdasarkan nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan masing-masing sampel, yaitu biji ketumbar untuk hasil paling kecil dan kulit pisang dengan hasil terbesar.

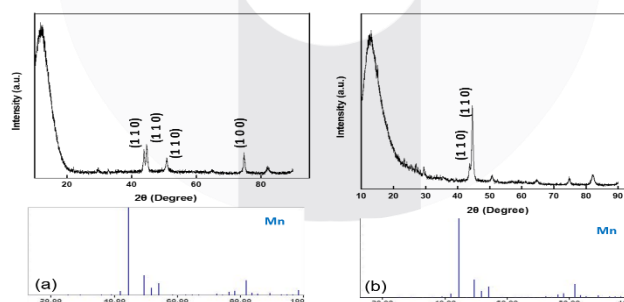


Gambar 9 Hasil uji SEM pada elektroda kerja dengan pengkelat ekstrak biji ketumbar (a) perbesaran 10000x, (b) perbesaran 50000x dan ekstrak kulit pisang (c) perbesaran 10000x, (d) perbesaran 50000x

Elektroda kerja yang digunakan pada tahap ini adalah elektroda kerja dengan bahan pengkelat ekstrak biji ketumbar dengan massa sampel 1 mg dan perbandingan antara MnSO_4 dengan ekstrak biji ketumbar adalah 1 : 1. Gambar 9 merupakan hasil pengujian pada tegangan 10 kV dengan perbesaran 10000 dan 50000 kali. Pada Gambar (a) dengan perbesaran 10000 kali terlihat bahwa permukaan lapisan tipis elektroda kerja membentuk gumpalan-gumpalan partikel yang cukup besar dan padat. Sedangkan pada Gambar (b) dengan perbesaran 50000 kali menghasilkan partikel-partikel yang menggumpal dengan lebih halus. Pada kedua perbesaran tersebut didapat ukuran partikel sebesar 1 – 5 μm . Selanjutnya hasil uji SEM untuk sampel elektroda kerja dengan pengkelat ekstrak kulit pisang pada massa 1 mg dan rasio 1 : 1 Gambar (c) dengan perbesaran 10000 kali menunjukkan gumpalan-gumpalan partikel yang cukup padat pada lapisan tipis elektroda kerja. Sedangkan pada Gambar (d) dengan perbesaran 50000 kali menunjukkan gumpalan partikel yang lebih halus dan cukup besar. Kedua perbesaran tersebut menunjukkan ukuran partikel pada lapisan tipis berkisar antara 1 – 5 μm .

3.3.1 Karakterisasi Elektroda Kerja dengan *X-ray Diffraction* (XRD)

Karakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* dilakukan untuk mengetahui sifat kristalinitas dari lapisan tipis elektroda kerja dengan bahan pengkelat ekstrak biji ketumbar dan kulit pisang. Pengamatan XRD menggunakan difraksi sinar x pada sudut $2\theta = 10^\circ - 90^\circ$ dengan $\lambda = 0.5418 \text{ \AA}$. Hasil dari pengujian XRD dapat diolah menggunakan *Microsoft Excel* untuk kalkulasi jarak antar layer, *Match3* untuk mengetahui posisi tiap puncak dan unsur-unsur yang terdapat pada posisi tersebut, dan *Origin* untuk mengolah data selanjutnya menjadi sebuah grafik.



Gambar 10 Hasil Pengujian XRD Elektroda Kerja Dengan Pengkelat (a) Ekstrak Biji Ketumbar dan (b) Ekstrak Kulit pisang

Berdasarkan Gambar 10 (a) didapat hasil bahwa terdapat beberapa puncak unsur mangan yang terlihat cukup jelas. Pada tahap ini pengolahan data dikhususkan untuk unsur mangan yang merupakan bahan utama pada fabrikasi elektroda superkapasitor dipenelitian ini. Gambar 10 (a) menunjukkan pada posisi $2\theta = 44.73^\circ$ dengan puncak (1 1 0) merupakan puncak tertinggi dari unsur mangan pada lapisan tipis elektroda kerja dengan pengkelat ekstrak biji ketumbar. Berdasarkan pengolahan data diperoleh hasil bahwa struktur kristal yang terbentuk adalah kubik. Pada tahap ini pengolahan data juga dikhususkan untuk unsur mangan yang merupakan bahan utama pada fabrikasi elektroda superkapasitor dipenelitian ini. Pada Gambar 10 (b) terlihat secara jelas bahwa puncak

tertinggi terdapat pada (1 1 0) posisi $2\theta = 44.62^\circ$. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sifat kristalinitas unsur mangan pada posisi tersebut sangat bagus. Kemudian pada posisi lainnya nilai intensitas menurun drastis dan cenderung menunjukkan sifat amorf.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini diperoleh nilai kapasitansi spesifik dari lapisan tipis elektroda kerja dengan berbagai variasi yang dibuat. Pada variasi tumbuhan diperoleh nilai kapasitansi spesifik maksimum pada elektroda kerja dengan ekstrak bahan alami kulit pisang, yaitu 43.1 F/g. Pada variasi massa diperoleh nilai kapasitansi spesifik maksimum pada elektroda kerja dengan massa 1 mg, yaitu 43.1 F/g. Kemudian nilai kapasitansi spesifik maksimum pada elektroda kerja dengan variasi rasio MnSO_4 dan ekstrak kulit pisang 1 : 1 adalah sebesar 43.1 F/g. Pada variasi *scan-rate* diperoleh nilai spesifik maksimum dengan *scan-rate* 1 mV/s, yaitu sebesar 31.55 F/g.

5. Daftar Pustaka

1. Fathona, I.W., & Yabuki, A. (2016). Multi-plate, thin- film electrodes of manganese oxide synthesized via the thermal decomposition of a manganese-amine complex for use as electrochemical supercapacitors. *Electrochimica Acta*, 1.
2. Nagarajan, N., Cheong, M., & Zhitomirsky, I. (2007). Electrochemical capacitance of MnOx films. *ScienceDirect. Material Chemistry and Physics*.
3. 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.
4. B. Conway, *Electrochemical supercapacitors*, Scientific, Kluwer Academic Plenum Publishers, New York, 1999.
5. Z. Yu, B. Duong, D. Abbitt, J. Thomas, Highly ordered MnO₂ nanopillars for enhanced supercapacitor performance, *Adv. Mater.* 25 (2013) 3302–3306. doi:10.1002/adma.201300572.
6. Gede Ananta Wikrana Putra, I. W. (2019). Studi Elektroda Berbahan Dasar Jahe (zingiber Officinale) Untuk Aplikasi Superkapasitor Elektrokimia. *eProceedings of Engineering Telkom University*.
7. Muhammad Awaludin Arsyad, A. A. (2019). Studi Penggunaan Bahan Alami Buah Kapulaga (amomum Compactum) Untuk Fabrikasi Elektroda Pada Elektrokimia Kapasitor. *eProceedings of Engineering Telkom University*.
8. Rudi Adi Setiawan, I. W. (2019). Pembuatan Elektroda Berbahan Dasar Biji Tanaman Putri Malu (Mimosa Pudica) Untuk Aplikasi Superkapasitor Elektrokimia. *eProceedings of Engineering Telkom University*.