

Karakterisasi Fasa dan Kapasitansi Elektroda Kayu Karet yang Dielektrodeposisi Menggunakan CuSO_4 untuk Aplikasi Elektroda Superkapasitor

Debby Herianto Wijaya^{1,*}, Dahyunir Dahlan

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas

*debbyherianto97@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang elektroda karbon dari kayu karet yang dielektrodeposisi dengan variasi tegangan 2,5 dan 5,0 volt menggunakan larutan elektrolit CuSO_4 untuk aplikasi superkapasitor. Elektroda karbon dikarakterisasi dengan menggunakan XRD dan LCR meter. Karakterisasi XRD bertujuan untuk mengetahui fasa senyawa yang terdapat pada elektroda karbon. Karakterisasi menggunakan LCR meter digunakan untuk mengukur nilai kapasitansi elektroda karbon. Dari hasil XRD, sampel yang di elektrodeposisi dengan tegangan 2,5 volt mempunyai 4 fasa senyawa, yaitu Cu_2O , CuO , Cu dan C dan sampel yang di elektrodeposisi dengan tegangan 5,0 volt mempunyai 5 fasa senyawa, yaitu NaNO_3 , Cu_2O , CuO , Cu , dan C . Dari pengukuran kapasitansi menggunakan LCR meter dengan frekuensi 100 Hz, 120 Hz, dan 1000 Hz didapatkan hasil bahwa nilai kapasitansi yang tertinggi terdapat pada sampel yang di elektrodeposisi dengan tegangan 5,0 volt sebesar $7,21 \times 10^{-5}$ F.

Kata kunci : elektroda karbon, elektrodeposisi, CuSO_4 , superkapasitor

ABSTRACT

A research has been done on the carbon electrodes of rubber wood which electrodeposited by varying the voltage of 2.5 and 5.0 volts using the CuSO_4 electrolyte solution for supercapacitor applications. Carbon electrodes were characterized by using XRD and LCR meter. XRD characterization aims to determine the compound phase in the carbon electrode. Characterization using LCR meter is used to measure the capacitance value of carbon electrode. From the results of XRD, samples which electrodeposited with voltage of 2.5 volts have 4-phase compounds, namely Cu_2O , CuO , Cu and C and the samples which electrodeposited with voltage of 5.0 volts have 5-phase compounds, namely NaNO_3 , Cu_2O , CuO , Cu , and C . From capacitance measurement using an LCR meter with a frequency of 100 Hz, 120 Hz, and 1000 Hz showed that the highest capacitance values found in samples which electrodeposited with voltage of 5.0 volts that is 7.21×10^{-5} F.

Keywords : carbon electrodes, electrodeposition, CuSO_4 , supercapacitors

I. PENDAHULUAN

Superkapasitor sebagai alat penyimpan energi, telah digunakan secara luas pada bidang elektronik dan transportasi, seperti sistem telekomunikasi digital, komputer dan *pulse laser system*, *hybrid electrical vehicles*, dan sebagainya (Wang, 2004). Superkapasitor memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan baterai dan kapasitor konvensional, diantaranya adalah waktu hidup yang lebih lama, prinsip dan modelnya yang sederhana, waktu pengisian yang pendek, aman dan memiliki rapat daya yang tinggi yaitu 10-100 kali lipat lebih besar (Hyeok, 2001), (Karthikeyan, 2009), (Jayalakshmi, 2008), (Sahay, 2009). Selain itu, kebutuhan waktu yang singkat dalam pengisian ulang menyebabkan superkapasitor mempunyai potensi yang besar dibandingkan baterai (Conway, 1999).

Superkapasitor memiliki banyak kelebihan dibanding dengan alat penyimpan energi yang lain seperti kapasitor. Dari sisi teknis, superkapasitor memiliki jumlah siklus yang relatif banyak (>100000 siklus), kerapatan energi yang tinggi, kemampuan menyimpan energi yang besar, prinsip yang sederhana dan konstruksi yang mudah (Hyeok, 2001). Sedangkan dari sisi keramahan terhadap pengguna, superkapasitor meningkatkan keamanan karena tidak ada bahan korosif dan lebih sedikit bahan yang beracun (Karthikeyan, 2009).

Pada superkapasitor mempunyai salah satu fungsi yang sangat penting yaitu, elektroda. Elektroda yang digunakan berupa elektroda karbon yang berasal dari kayu karet. Elektroda karbon dari kayu karet menghasilkan struktur pori yang tersusun relatif teratur. Pori yang teratur ini diharapkan dapat menghasilkan elektroda dengan kemampuan alir elektrolit yang lebih bagus dibandingkan elektroda dengan struktur pori acak. Struktur pori teratur akan

menghasilkan transfer pemindahan ion yang cepat sehingga menghasilkan daya superkapasitor yang lebih tinggi (Yanti, 2014).

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah secara elektodeposisi karena lebih mudah dilakukan, tingkat keseragaman lapisan yang dihasilkan lebih baik, rata-rata kemungkinan terdosisnya tinggi serta adhesi yang bagus (Jiang dkk, 2001). Elektodeposisi yang digunakan pada penelitian ini adalah elektodeposisi arus pulsa (*on-off*) karena memiliki beberapa kelebihan seperti prosesnya yang tidak rumit, dapat mengurangi porositas, kemurnian tinggi, hasil deposisi berbutir halus dan seragam, hambatan listrik rendah sehingga diharapkan memperbaiki sifat fisik dan kimia pada pelet karbon kayu karet yang terbentuk (Song, 2010).

II. METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah persiapan elektroda karbon, proses elektodeposisi elektroda karbon, dan karakterisasi elektroda karbon yang terdiri dari pengukuran menggunakan XRD dan LCR meter.

2.1 Persiapan elektroda karbon yang akan dideposisi

Penelitian ini dimulai dengan mempersiapkan elektroda karbon yang akan dideposisi dengan proses pengamplasan dan pembersihan. Elektroda karbon diamplas sampai ketebalan 1 mm dan diameter 1 cm. Setelah elektroda karbon diamplas kemudian dibersihkan dengan menggunakan aquabides dan selanjutnya dibilas dengan etanol untuk menghilangkan kotoran atau sisa lemak yang masih menempel.

2.2 Pembuatan larutan elektrolit

Larutan CuSO_4 digunakan sebagai larutan elektrolit dengan konsentrasi 0,5 mol. Pembuatan larutan elektrolit CuSO_4 sebanyak 100 ml untuk proses elektodeposisi dipersiapkan dengan menimbang 12,484 gram CuSO_4 kemudian dicampurkan dengan aquabides dalam gelas ukur 100 ml. Kemudian larutan tersebut diaduk di dalam gelas beaker menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam dengan suhu 30°C . Tujuan dari pengadukan ini agar bahan yang dicampurkan dapat menjadi campuran yang homogen dan tidak mengendap. Elektrolit yang dihasilkan berwarna biru dan semakin tinggi konsentrasi larutan elektrolit yang digunakan maka warna larutan elektrolit yang dihasilkan semakin biru pekat.

2.3 Elektodeposisi pelet elektroda karbon

Setelah larutan elektrolit selesai dibuat maka peralatan untuk proses elektodeposisi dipersiapkan. Elektroda karbon dipasang pada katoda (kutub negatif) dan plat platina dipasang pada anoda (kutub positif). Kedua elektroda tersebut dipasang dan dimasukkan secara bersamaan ke dalam set peralatan elektodeposisi berbentuk bejana yang berisi larutan elektrolit yang telah dibuat sebelumnya.

Pada proses elektodeposisi dilakukan dengan memvariasikan tegangan bertujuan untuk memperoleh nilai tegangan optimum. Pada sampel A yang terdiri dari A_1 dan A_2 menggunakan tegangan dari empat daya sebesar 2,5 V. Pada saat elektodeposisi kedua sampel tidak sekaligus dimasukkan ke dalam wadah melainkan sampel dimasukkan ke dalam wadah satu-persatu pada saat elektodeposisi. Waktu yang digunakan saat elektodeposisi adalah selama 15 menit dan diamati arus menggunakan multimeter setiap 5 menit. Untuk sampel B yang terdiri dari B_1 dan B_2 dengan menggunakan tegangan dari empat daya sebesar 5,0 V. Untuk sampel C tidak dilakukan elektodeposisi. Data yang diperoleh dari elektodeposisi berupa arus melalui multimeter yang diperoleh sampel pada saat elektodeposisi.

2.4 Pembuatan sel superkapasitor

Sel superkapasitor dibuat dengan permukaannya berbentuk lingkaran dengan susunan komponennya: kaca akrilik, pengumpul arus (stainless steel), elektroda karbon, separator (pemisah), elektroda karbon, dan pengumpul arus. Sebelum separator digunakan, terlebih dahulu direndam dalam larutan HCl.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Elektrodeposisi Elektroda Karbon

Pada proses elektrodeposisi arus pulsa dengan menggunakan larutan elektrolit CuSO_4 didapatkan data seperti terlihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Dari hasil pengukuran arus pada proses elektrodeposisi dapat dilihat perbandingan arus yang terukur oleh multimeter pada sampel A1 terhadap sampel A2 dan sampel B1 terhadap sampel B2. Pada dasarnya sampel A1 dan A2 dibuat sama ukuran dan ketebalannya serta perlakuan yang diberikan sama, sehingga nilai arus yang mengalir hampir sama. Namun nilai arus yang terukur pada proses elektrodeposisi yang didapatkan berbeda. Hal ini dikarenakan pada proses elektrodeposisi terjadi pengikisan pada elektroda karbon sehingga ketebalan elektroda karbon tidak sama, sehingga nilai arus yang terukur pada sampel A1 dan A2 jauh berbeda. Begitu juga dengan sampel B1 dan B2 didapatkan nilai arus yang berbeda, ini dikarenakan ukuran dan ketebalan pada sampel tidak sama yang diakibatkan oleh pengikisan elektroda karbon pada proses elektrodeposisi.

Untuk perbandingan antara sampel A dan sampel B dapat dilihat bahwa tegangan yang diberikan mempengaruhi besarnya arus yang terukur, semakin besar tegangan yang diberikan maka semakin besar pula arus yang dihasilkan.

Tabel 1 Elektrodeposisi arus pulsa *on – off* terhadap sampel A.

Sampel	Tegangan (V)	Konsentrasi (M)	Waktu (menit)	Arus (mA)
A ₁	2,5	0,5	15	21,2
A ₂	2,5	0,5	15	15,8

Tabel 2 Elektrodeposisi arus pulsa *on – off* terhadap sampel B.

Sampel	Tegangan (V)	Konsentrasi (M)	Waktu (menit)	Arus (mA)
B ₁	5,0	0,5	15	34,3
B ₂	5,0	0,5	15	50,3

3.2 Pengukuran Resistansi

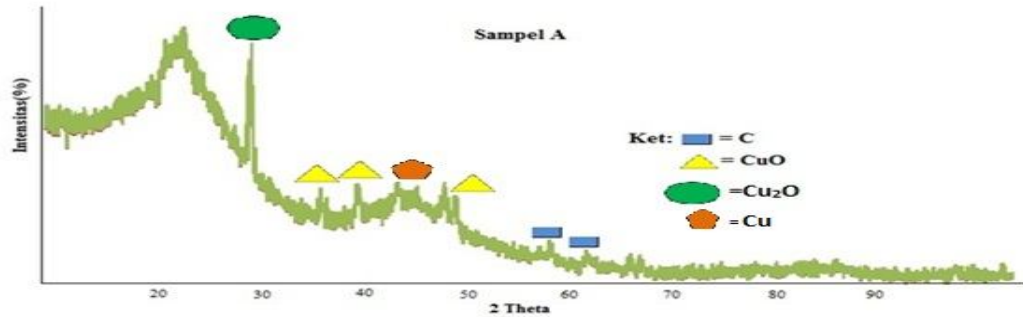
Pada penelitian ini dilakukan pengukuran nilai resistansi sebelum elektrodeposisi dan sesudah elektrodeposisi terhadap 4 buah sampel yang terdiri dari sampel A dan sampel B. Pada Tabel 3 didapatkan data pengukuran nilai resistansi sebelum dilakukan elektrodeposisi dengan sesudah dilakukan elektrodeposisi. Penurunan nilai resistansi diakibatkan karena partikel Cu sudah terdeposisi pada sampel. Semakin banyak partikel Cu yang terdeposisi pada sampel maka semakin tinggi konduktivitas sampel, sehingga nilai resistansi sampel menjadi rendah. Penurunan nilai resistansi elektroda karbon diakibatkan juga karena terjadinya pengikisan elektroda karbon pada proses elektrodeposisi, sehingga ketebalan pada elektroda karbon berkurang dan nilai resistansi elektroda karbon menurun.

Tabel 3 Pengukuran nilai resistansi

Sampel	Sebelum elektrodeposisi (M Ω)	Sesudah elektrodeposisi (M Ω)
A ₁	13,7	7,79
A ₂	12,52	7,96
B ₁	13,11	5,21
B ₂	14,10	5,85

3.3 Karakterisasi Elektroda Karbon dengan XRD

3.3.1 Sampel A



Gambar 1 Pola XRD karbon kayu karet pada sampel A

Dari data intensitas dan posisi puncak difraksi yang dihasilkan oleh difraktometer sinar-X kemudian dibandingkan dengan data standar JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) maka dapat diketahui fasa senyawa Cu, Cu₂O, dan CuO terdeposisi pada elektroda karbon. Fasa Cu inilah yang menyebabkan meningkatnya konduktivitas pada elektroda karbon.

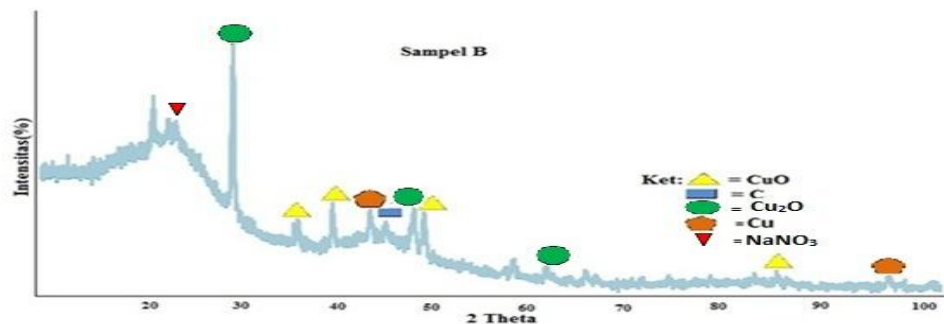
Tabel 4 Nilai 2-Theta dan intensitas puncak tertinggi kurva XRD sampel A

Peak	2-Theta	Intensitas	FWHM	d(A ^o)	Senyawa/hkl
1	29,2332	571,72	0,1023	3,05504	Cu ₂ O(110)
2	35,7188	108,64	0,3070	2,51380	CuO(002)
3	39,3417	97,15	0,4093	2,29025	CuO(111)
4	42,8565	92,78	0,4093	2,11022	Cu(111)
5	48,3316	139,08	0,3582	1,88319	CuO(-202)
6	57,1032	57,18	0,6140	1,61301	C(104)
7	60,3872	41,98	0,8187	1,53291	C(103)

Berdasarkan data karakterisasi XRD sampel A menghasilkan 7 puncak difraksi sinar-X yaitu puncak-puncak pada sudut 2-Theta terhadap intensitas dengan nilai masing-masing ditunjukkan pada Tabel 4. Setiap puncak memiliki intensitas yang berbeda terhadap posisi 2-Theta yang berbeda juga. Dengan mencocokkan data pada JCPDS maka setiap sudut 2-Theta tersebut dapat diidentifikasi kristalnya.

Hasil karakterisasi menunjukkan sampel A mengandung 4 fasa senyawa yaitu Cu₂O, CuO, Cu, dan C dengan nilai intensitas berbeda-beda (Tabel 4). Intensitas tertinggi terletak pada posisi 2-Theta 29,2332^o yaitu sebesar 571,72 yang merupakan puncak dari kristal Cu₂O dan dapat diketahui bidang kristal atau indeks Miller hkl yaitu (110). Intensitas terendah terletak pada puncak ke 7 yaitu sebesar 41,98 pada sudut 2-Theta 60,3872^o yang merupakan puncak dari kristal C dengan orientasi hkl (103). Intensitas yang tinggi menunjukkan bahwa partikel tersebut memiliki derajat kristalinitas yang baik.

3.3.2 Sampel B



Gambar 2 Pola XRD karbon kayu karet pada sampel B

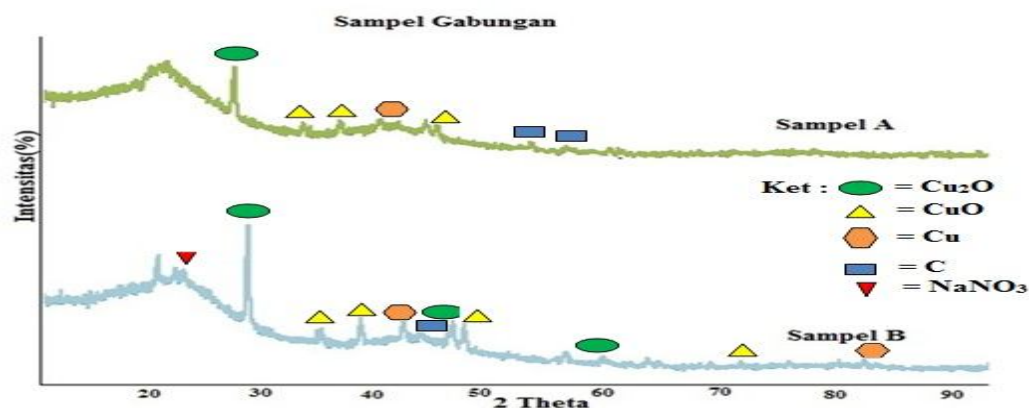
Hasil karakterisasi XRD berupa difraktogram antara sudut 2-Theta dengan intensitas. Dari data intensitas dan posisi puncak difraksi yang dihasilkan oleh difraktometer sinar-X kemudian dibandingkan dengan data standar JCPDS dapat diketahui fasa senyawa kristalin lapisan Cu-O sampel B. Data-data hasil XRD sampel B diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Nilai 2-Theta dan intensitas puncak tertinggi kurva XRD sampel B

Peak	2-Theta	Intensitas	d(A°)	FWHM	Senyawa/hkl
1	22,8390	189,86	3,89381	0,3070	NaNO ₃ (012)
2	29,3045	1067,40	3,04776	0,1279	Cu ₂ O(110)
3	35,7174	149,72	2,51389	0,3070	CuO(002)
4	39,1919	239,06	2,29866	0,2558	CuO(111)
5	42,9321	209,04	2,10668	0,2558	Cu(111)
6	44,5432	141,84	2,03415	0,3070	C(101)
7	47,2957	276,54	1,92199	0,2558	Cu ₂ O(200)
8	48,2918	282,70	1,88465	0,2558	CuO(-202)
9	60,4974	82,74	1,53038	0,3070	Cu ₂ O(220)
10	83,6168	47,63	1,15645	0,4093	CuO(400)
11	94,7353	62,01	1,04787	0,4093	Cu(222)

Tabel 5 menunjukkan data XRD sampel B memiliki 11 puncak difraksi sinar-X tertinggi dengan nilai intensitas yang berbeda-beda. Hasil identifikasi menunjukkan sampel B juga mengandung 5 fasa senyawa kristalin yaitu NaNO₃, Cu₂O, CuO, Cu, dan C dengan nilai intensitas berbeda-beda. Intensitas tertinggi terletak pada posisi 2-Theta 29,304° yaitu sebesar 1067,40 yang merupakan puncak dari Cu₂O dan dapat diketahui bidang kristal atau indeks yaitu Miller hkl yaitu (110). Intensitas terendah terletak pada puncak ke 10 yaitu sebesar 47,63 pada sudut 2-Theta 83,6168° yang merupakan puncak dari kristal CuO dengan orientasi hkl (400).

3.3.3 Perbandingan pola difraksi XRD sampel A dan sampel B



Gambar 3 Perbandingan pola difraksi XRD sampel A dan sampel B

Berdasarkan kedua grafik pola difraksi XRD terlihat bahwa sampel A dan sampel B memiliki karakteristik yang sedikit berbeda. Hal tersebut ditandai dengan material oksida pada sampel A dan sampel B berjumlah tidak sama begitu juga dengan material logam Cu yang diperlihatkan pada Tabel 4 dan Tabel 5 XRD sampel A menghasilkan identifikasi partikel Cu₂O sebanyak 1 puncak CuO sebanyak 3 puncak, partikel Cu sebanyak 1 puncak, dan C sebanyak 2 puncak. Sedangkan sampel B menghasilkan identifikasi partikel Cu₂O sebanyak 3 puncak, CuO sebanyak 4 puncak, partikel Cu sebanyak 2 puncak, partikel C sebanyak 1 puncak, dan NaNO₃ sebanyak 1 puncak.

Jumlah material Cu pada sampel B lebih banyak dibandingkan dengan sampel A, serta material CuO dan Cu₂O lebih banyak terdapat pada sampel B dibandingkan dengan sampel A. Begitu juga titik puncak kristal Cu₂O pada sampel B lebih tinggi dibandingkan dengan sampel A.

3.4 Pengukuran Kapasitansi dengan LCR meter

Pengukuran dengan menggunakan LCR Meter bertujuan untuk mengetahui nilai kapasitansi dari elektroda karbon kayu karet. Data yang diperoleh berupa tabel dimana perbandingan antara nilai frekuensi (Hz) dengan kapasitansi (F). Pengujian ini dilakukan menggunakan membran telur itik dengan aktivator HCL 0,5 mol, dan menggunakan frekuensi 100 Hz, 120 Hz dan 1 KHz.

Tabel 6 Pengukuran nilai kapasitansi sampel A

No	Frekuensi (Hz)	Kapasitansi (F) sampel A	Kapasitansi (F) sampel B	Kapasitansi (F) sampel C
1	100	$5,97 \times 10^{-5}$	$7,25 \times 10^{-5}$	$9,74 \times 10^{-6}$
		$5,74 \times 10^{-5}$	$7,21 \times 10^{-5}$	$9,57 \times 10^{-6}$
		$5,64 \times 10^{-5}$	$7,19 \times 10^{-5}$	$9,32 \times 10^{-6}$
	Rata - rata	$5,78 \times 10^{-5}$	$7,21 \times 10^{-5}$	$9,54 \times 10^{-6}$
2	120	$4,63 \times 10^{-5}$	$6,33 \times 10^{-5}$	$6,64 \times 10^{-6}$
		$4,61 \times 10^{-5}$	$6,31 \times 10^{-5}$	$6,45 \times 10^{-6}$
		$4,57 \times 10^{-5}$	$6,29 \times 10^{-5}$	$6,30 \times 10^{-6}$
	Rata - rata	$4,60 \times 10^{-5}$	$6,31 \times 10^{-5}$	$6,46 \times 10^{-6}$
3	1000	$3,96 \times 10^{-6}$	$4,62 \times 10^{-6}$	$6,90 \times 10^{-7}$
		$3,92 \times 10^{-6}$	$4,58 \times 10^{-6}$	$6,81 \times 10^{-7}$
		$3,90 \times 10^{-6}$	$4,53 \times 10^{-6}$	$6,77 \times 10^{-7}$
	Rata - rata	$3,92 \times 10^{-6}$	$4,57 \times 10^{-6}$	$6,82 \times 10^{-7}$

Dari pengukuran kapasitansi dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar frekuensi yang diberikan maka kapasitansi yang dihasilkan oleh karbon kayu karet yang diberi membran telur itik semakin menurun. Pada frekuensi 1000 Hz, kapasitansi karbon mengalami penurunan. Nilai kapasitansi tertinggi pada saat diberikan frekuensi 100 Hz, karena semakin besar frekuensi yang diberikan, maka gelombang yang ditransmisikan tiap detiknya juga semakin besar dan terjadi orientasi muatan pada kapasitor. Selain itu keberadaan bahan dielektrik di tengah kapasitor juga menyebabkan lemahnya medan listrik sehingga kapasitansi yang dihasilkan saat diberikan frekuensi yang lebih besar semakin menurun.

Dari hasil pengukuran kapasitansi elektroda karbon menggunakan LCR meter dapat dikatakan bahwa kapasitansi elektroda karbon sampel B memiliki nilai kapasitansi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel A dan sampel C. Ini membuktikan bahwa dengan tegangan elektrodeposisi 5,0 V (sampel B) memiliki nilai kapasitansi yang lebih tinggi dibandingkan dengan tegangan elektrodeposisi 2,5 V (sampel A) dan tanpa dilakukan elektrodeposisi (sampel C).

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan bahwa pada proses elektrodeposisi dengan larutan elektrolit CuSO_4 , semakin besar tegangan yang diberikan pada proses elektrodeposisi elektroda karbon semakin besar pula arus yang terukur. Elektrodeposisi dengan larutan elektrolit CuSO_4 mengakibatkan resistansi pada elektroda karbon menurun karena pendeposisian dengan larutan elektrolit CuSO_4 meningkatkan konduktivitas elektroda karbon. Berdasarkan pola XRD diketahui bahwa struktur fasa yang tertinggi terletak pada sampel dengan tegangan elektrodeposisi 5,0 V dengan titik puncak pada sudut 2-Theta $29,304^\circ$ yaitu sebesar $1067,40$. Pada sampel yang di elektrodeposisi dengan tegangan elektrodeposisi 2,5 volt didapatkan 4 fasa senyawa, yaitu Cu_2O , CuO , Cu dan C dan sampel yang di elektrodeposisi dengan tegangan elektrodeposisi 5,0 volt didapatkan 5 fasa senyawa, yaitu NaNO_3 , Cu_2O , CuO , Cu , dan C . Elektrodeposisi menyebabkan nilai kapasitansi elektroda karbon lebih tinggi dari pada elektroda yang tidak dielektrodeposisi. Pengukuran kapasitansi menggunakan LCR meter dengan frekuensi 100 Hz, 120 Hz, dan 1000 Hz didapatkan hasil

bahwa nilai kapasitansi yang tertinggi terdapat pada sampel yang di elektrodeposisi dengan tegangan 5,0 volt sebesar $7,21 \times 10^{-5}$ F.

DAFTAR PUSTAKA

- Hyeok, A. K., *Electrochemical Properties Of High-Power Supercapacitors Using Single-Walled Carbon nanotube Electrodes* (Advanced Functional Materials Vol 11, 2001), Hal 387-392.
- Conway, B . E., *Electrochemical Supercapacitors Scientific Fundamentals and Technological Applications* (Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 1999), Ch. 15.
- Jamaluddin, “Elektrodeposisi Lapisan Tipis CuO (Copper Oxxide) Menggunakan ArusPulsa (ON-OFF) dan Arus Kontinu Dengan Surfaktan SDS (Sodium Dodecyl Sulphat)”, Tesis S2, Universitas Andalas, 2012.
- Jayalakshmi, M., *Simple Capacitors To Supercapacitors*, (Int. J. Electrochem. Sci.. Vol 3, 2008), Hal 1196 – 1217.
- Jiang, T. J. Dan Nail, C., *Three Methods for Thin Film Deposition of Copper With Potential Commercial Aplication* (The Solid Film 324, 2001), Hal 164-185.
- Karthikeyan, K., *Synthesis And Characterization Of Znco2o4 Nanomaterial For Symmetric Supercapacitor Applications* (Ionics, 2009).
- Sahay, K., *Supercapcitor Energy Storage System For Power QualityImprovement. J* (Electrical Systems Vol X, 2009), Hal 1-8.
- Song, Y.J., Han, S.B., Lee H.H., dan Park K.W., 2010, *Size-Controlled Cu₂O Nanocubes by Pulse Electrodeposition* (Journal of The Korean Elektrochemical Society Vol. 13, No.1, 2010), Hal 40-44.
- Wang, G. X., *Manganese Oxide/MWNTs Composite Electrodes For Supercapacitor* (Solid state ionics vol 176, 2004), hal 1169-1174.
- Yanti, S., “Efek Modifikasi Permukaan Karbon Aktif Monolit Terhadap Sifat Fisis dan Elektrokomia Sel Superkapasitor”, Skripsi S1, Universitas Riau. 2014.