

Pengaruh Konsentrasi Karbon terhadap Performa Elektrokimia Katoda LiFePO_4 untuk Aplikasi Baterai Lithium Ion Tipe *Aqueous Electrolyte*

Ade Okta Yurwendra dan Lukman Noerochim

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: lukmanits@gmail.com

Abstrak—Baterai lithium ion rechargeable telah dipertimbangkan sebagai sebuah sumber tenaga listrik yang digunakan untuk berbagai aplikasi. LiFePO_4 yang digunakan sebagai katoda, dipilih karena memiliki sifat yang ramah lingkungan tetapi memiliki konduktivitas yang lemah. LiFePO_4 dilakukan proses konduktif coating menggunakan sukrosa dengan pemanasan 600°C selama 3 jam didalam atmosfer argon untuk membentuk karbon coating LiFePO_4 (LiFePO_4/C) dengan variasi persentase berat karbon 9%, 14.5%, dan 17.8% karbon. Dari analisis cyclic voltammetry penambahan karbon coating dapat meningkatkan stabilitas didalam *aqueous electrolyte*. Hasil galvanostatic charge/discharge didapatkan hasil terbaik pada LiFePO_4/C dengan persentase berat karbon 9% dengan kapasitas discharge 13.3 mAhg^{-1} dan mengalami penurunan kapasitas sebesar 2.2% setelah cycle ke 100. Penambahan karbon yang berlebihan menurunkan kapasitas LiFePO_4 .

Kata Kunci— LiFePO_4/C , Sukrosa, Baterai Lithium-ion, Persentase, karbon coating

I. PENDAHULUAN

BATERAI lithium ion rechargeable telah dipertimbangkan sebagai sebuah sumber tenaga listrik yang digunakan untuk berbagai aplikasi seperti telepon seluler, laptop, kamera, kendaraan listrik hybrid karena energi densitas yang tinggi, potensial kerja yang tinggi, dan umur pemakaian yang panjang [1]. Selain itu, baterai lithium ion dibatasi oleh beberapa kekurangan seperti masalah keselamatan (*safety problem*), ekonomi, dan masalah lingkungan (*environmental problem*). Elektrolit organik yang biasa digunakan untuk baterai lithium ion rechargeable mudah terbakar yang mungkin dikarenakan asap atau api yang disebabkan penggunaan yang tidak tepat seperti *overcharge* atau arus pendek (*short-circuit*). Selain itu, lithium ion baterai relatif mahal dikarenakan *manufacture* sel yang khusus dan harga *nonaqueous* elektrolit [2]. Kelemahan tersebut mendorong untuk mengembangkan perangkat dan material yang murah dan ramah lingkungan seperti baterai lithium ion rechargeable dengan *aqueous electrolyte* [3]. *Lithium iron phosphate* (LiFePO_4) memiliki struktur *olivine* merupakan kandidat potensial yang digunakan sebagai katoda didalam elektrolit baterai lithium ion *non-aqueous* [4]. LiFePO_4 tidak

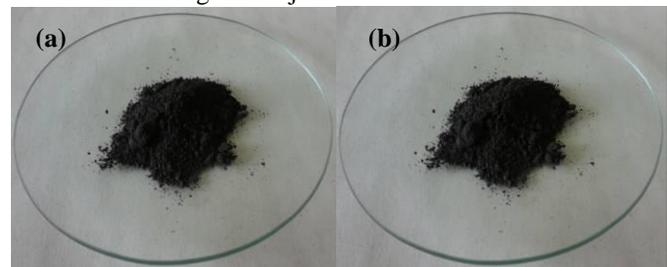
hanya murah tetapi juga tidak beracun. Hal merupakan faktor penting dalam menjaga lingkungan [5]. LiFePO_4 memiliki kapasitas teoritis 170 mAh/g , spesifik energi 0.59 Wh/g dan densitas 3.60 g/cm^3 didalam elektrolit organik (*non-aqueous*) [6]. Bagaimanapun salah satu hambatan dalam penggunaan LiFePO_4 sebagai katoda adalah konduktivitas elektronik yang rendah dibandingkan dengan katoda yang lainnya.

Pada studi penelitian ini, LiFePO_4 yang berasal dari perusahaan Xiamen TOB New Energy Technology co.,LTD dicoating dengan karbon yang berasal dari bahan organik sukrosa ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) yang bertujuan menaikkan sifat konduktivitas LiFePO_4 dan mempelajari sifat-sifat performa elektrokimia LiFePO_4 didalam *aqueous electrolyte* untuk aplikasi baterai lithium ion tipe *aqueous electrolyte*.

II. METODE PENELITIAN

A. Proses pembuatan karbon coating LiFePO_4 (LiFePO_4/C) dari sukrosa ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$)

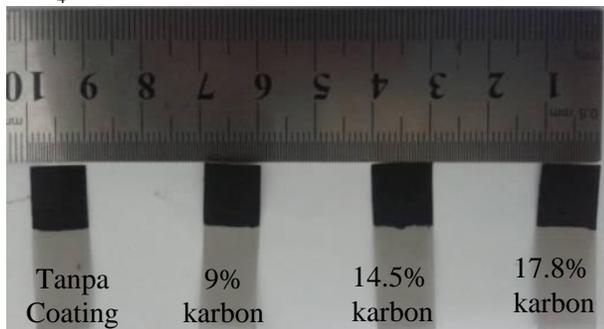
Pada proses karbon coating LiFePO_4 menggunakan sukrosa sebagai sumber karbon. Serbuk LiFePO_4 dipersiapkan terlebih dahulu dengan massa 15.8 gram . Sukrosa ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) terlebih dahulu dilarutkan didalam 10 ml air dengan variasi komposisi sukrosa 5.25 gram , 10.5 gram , dan 15.75 gram . Kemudian serbuk LiFePO_4 dicampur dengan larutan sukrosa menggunakan *hot plate* dan *magnetic stirrer* sampai homogen. Setelah proses homogenisasi antara serbuk LiFePO_4 dan larutan sukrosa, campuran tersebut dipanaskan menggunakan *horizontal furnace* yang dialiri gas argon dengan temperatur 600°C dan holding time 3 jam



Gambar 1. Hasil kalsinasi serbuk LiFePO_4 menggunakan sukrosa ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) pada temperature 600°C selama 3 jam: (a) sebelum kalsinasi, (b) setelah kalsinasi

B. Preparasi sample katoda dan elektrolit

Setelah proses pembuatan *coating lithium iron phosphate* (LiFePO_4/C). serbuk LiFePO_4/C dibuat dengan ukuran 1×1 cm untuk pengujian performa elektrokimia, serbuk LiFePO_4/C dicampur dengan *acetylene black* (AB), *Polyvinylidene difluoride* (PVDF) didalam *agate mortar* dengan perbandingan 85:10:5. Setelah homogen, campuran katoda LiFePO_4 ditetesi dengan *N-Methyl-2-pyrrolidone* (NMP) sebagai pelarut sampai membentuk *slurry* dan kemudian dilapiskan kesalah satu bagian permukaan substrat *stainless steel mesh* dengan ukuran 1 cm^2 sebagai *current collector* dan kemudian dikeringkan dengan temperatur 80°C menggunakan *furnace* selama 12 jam. Untuk mengetahui massa material katoda LiFePO_4/C , sebelum substrat *stainless steel mesh* dilapisi dengan campuran katoda LiFePO_4/C , substrat dipotong dengan ukuran 3×1 cm dan ditimbang massa substrat. Kemudian setelah dilapisi dengan campuran katoda LiFePO_4/C yang berbentuk *slurry*, sel dikeringkan menggunakan *furnace* dan ditimbang massa dari sel tersebut. Selisih dari substrat yang telah dilapiskan campuran katoda LiFePO_4/C dengan sebelum dilapisi merupakan massa katoda LiFePO_4/C .



Gambar 2. Katoda LiFePO_4 dengan current collector stainless steel mesh

Untuk pengujian *galvanostatic charge/discharge* dan cyclic voltammetry digunakan *aqueous electrolyte* Li_2SO_4 dengan konsentrasi 1 Molar dengan pH 13. Pada proses pembuatan elektrolit dilakukan pencampuran bahan serbuk Li_2SO_4 dengan serbuk LiOH berdasarkan molar masing-masing 1 M dan 0.1 dan dilarutkan dalam aquades/air suling (H_2O).

C. Pengujian carbon analyzer

Untuk mengetahui persentase berat dari karbon coating LiFePO_4 menggunakan *alat analyzer leco type IR-212*

D. Pengujian XRD

Untuk mengetahui dan menganalisa perubahan struktur dari LiFePO_4 setelah karbon coating menggunakan sukrosa

E. Pengujian SEM dan EDX

Untuk mengetahui morfologi dan komposisi dari karbon coating LiFePO_4 digunakan alat *SEM (Scanning Electron Microscopy)* merek FEI Inspect S-50

F. Pengujian Cyclic Voltammetry

Untuk mengetahui reaksi reduksi dan oksidasi (redoks) pada katoda LiFePO_4 yang menggunakan karbon coating dari sukrosa menggunakan alat AutoLab PGSTAT tipe 302N Metrohm dengan SCE sebagai elektroda *reference* dan platina sebagai elektroda *counter*.

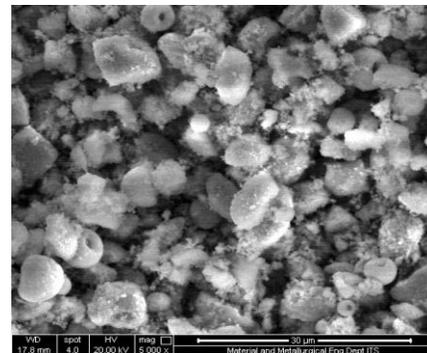
G. Pengujian galvanostatic charge/discharge

Untuk mengetahui kemampuan material untuk menyimpan energy dari material katoda LiFePO_4 menggunakan karbon coating dari sukrosa dengan sistem glass cell.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakterisasi karbon didalam LiFePO_4

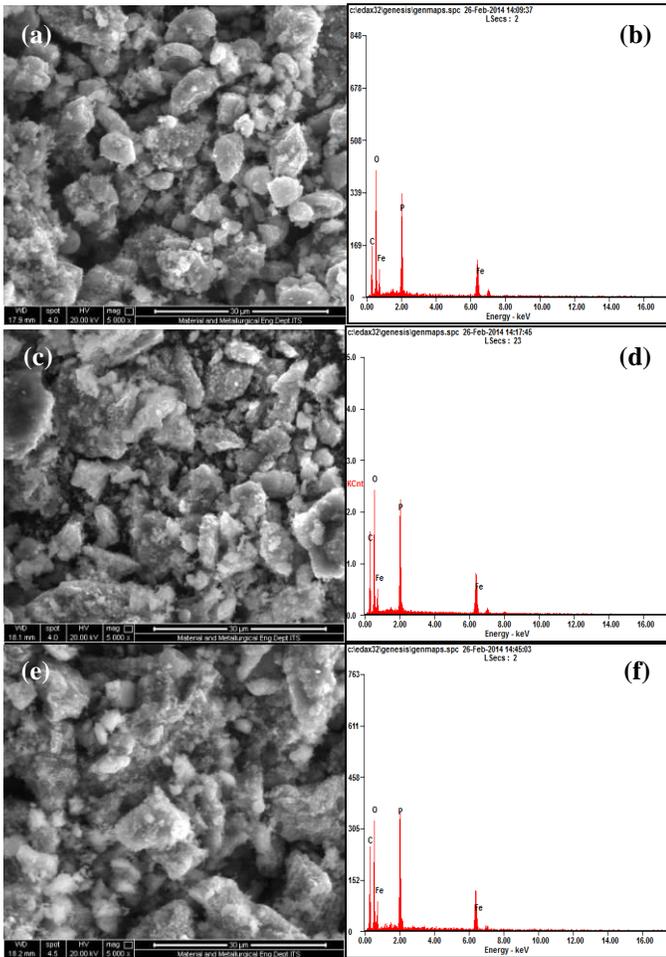
Pada Gambar 3 merupakan LiFePO_4 sebelum proses karbon coating menggunakan sukrosa sebagai sumber karbon yang memiliki ukuran partikel dengan range $2.5\text{-}6.0 \mu\text{m}$ dengan bentuk partikel yang tidak beraturan.



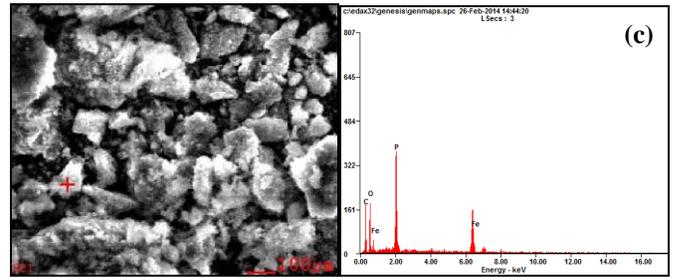
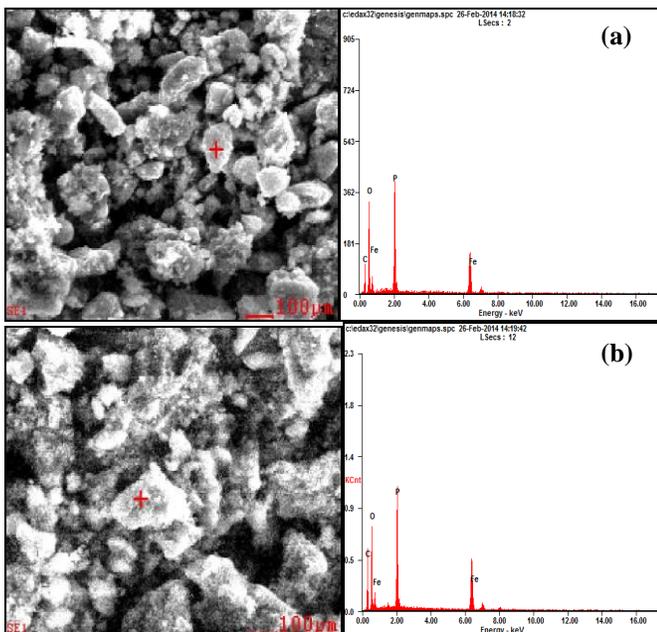
Gambar 3. Hasil Foto SEM serbuk LiFePO_4 tanpa coating dengan perbesaran 5000x

Setelah proses kalsinasi pada temperatur 600°C selama 3 jam, karbon yang berasal dari sukrosa diidentifikasi menggunakan carbon analyzer yang menghasilkan persentase berat 9%, 14.5, dan 17.8%. sukrosa yang memiliki rumus kimia $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ memiliki persentase 42% karbon didalam senyawa sukrosa. Tetapi setelah proses kalsinasi menyisakan karbon yang sedikit. Hal ini dikarenakan adanya reaksi kimia yang terjadi antara karbon dan oksigen diatas temperatur 250°C [7] yang menyebabkan karbon dan oksigen bereaksi dan membentuk CO_2/CO . sisa karbon terkarburisasi dan menempel pada kepermukaan partikel LiFePO_4 .

Pada gambar 4 menunjukan hasil SEM dan EDX setelah proses kalsinasi, dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa semakin banyak sukrosa yang digunakan menyisakan karbon semakin banyak pula, hal ini dapat dilihat dari puncak intensitas karbon pada hasil EDX. Semakin banyaknya karbon yang tersisa menyebabkan ukuran partikel terlihat menggumpal (agglomerasi). Untuk mengetahui LiFePO_4 terlapisi oleh karbon, dilakukan EDX area partikel pada material LiFePO_4 yang dapat ditunjukkan pada gambar 5. Dari analisa area partikel menggunakan EDX dapat terlihat bahwa karbon LiFePO_4/C dengan persentase 9% (gambar 5.a) menunjukkan adanya karbon yang menempel pada LiFePO_4 dan juga pada LiFePO_4/C 14.5% dan 17.8%. (gambar 5.b dan 5.c). Dari analisa EDX puncak karbon semakin tinggi dan mengindikasikan karbon semakin banyak dan tebal menempel pada LiFePO_4 .

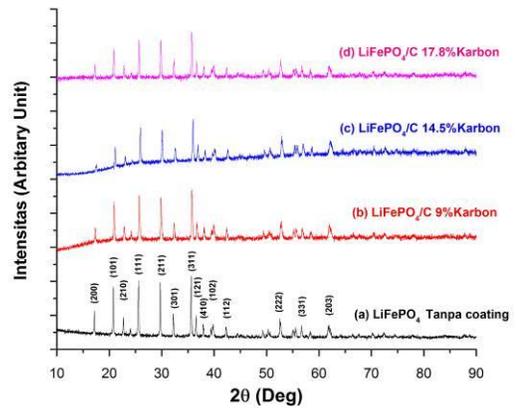


Gambar 4. Hasil foto SEM dan EDX LiFePO₄/C yang berasal dari sukrosa (C₁₂H₂₂O₁₁): (a) SEM LiFePO₄/C 9% karbo, (b) EDX LiFePO₄/C 9% karbon, (c) SEM LiFePO₄/C 14.5% karbon, (d) EDX LiFePO₄/C 14.5% karbon , (e) SEM LiFePO₄/C 17.8%, dan (f) EDX LiFePO₄/C 17.8 % karbon dengan perbesaran 5000x



Gambar 5. Hasil EDX area partikel LiFePO₄/C: (a) EDX LiFePO₄/C 9% karbon, (b) EDX LiFePO₄/C 14.5% karbon, dan (c) EDX LiFePO₄/C 17.8 % karbon

Pada Gambar 6 merupakan rangkuman dan perbandingan XRD dari LiFePO₄ tanpa coating, 9% karbon, 14.5% karbon, dan 17.8% karbon yang mempunyai puncak-puncak difraksi sesuai dengan struktur LiFePO₄ orthorombik yang sesuai dengan kartu PDF no 01-078-7910. Dari analisa XRD terlihat bahwa LiFePO₄ setelah proses kalsinasi dan penambahan sukrosa sebagai sumber karbon tidak mengalami perubahan struktur kristal dan karbon yang terdapat pada LiFePO₄ tidak dapat diidentifikasi dikarenakan karbon yang berasal dari sukrosa memiliki struktur kristal yang amorf (tidak beraturan). Karbon yang berasal dari sukrosa memiliki puncak yang sangat lebar dan landai disekitar ~23° [8]. sedangkan

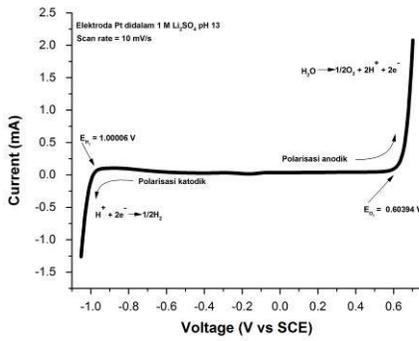


Gambar 6. Hasil XRD (a) LiFePO₄ tanpa coating (b) LiFePO₄/C 9% Carbon (c) LiFePO₄/C 14.5% Carbon (d) LiFePO₄/C 17.8% Carbon

LiFePO₄ memiliki salah satu puncak yang berada disekitar 23°. Oleh karena itu pada analisa XRD tidak terlihat puncak karbon.

B. Performa elektrokimia

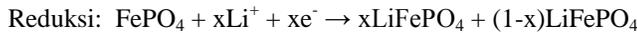
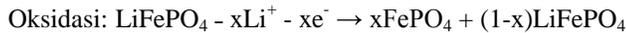
Cyclic voltammogram aqueous electrolyte 1 M Li₂SO₄ pH 13 dengan elektroda platina sebagai elektroda counter dan SCE sebagai elektroda *reference* yang ditunjukkan pada gambar 7. Ada dua puncak, pada arah positif sekitar +0.6 V dan pada arah negatif sekitar -1.0 V (yang berhubungan pada reaksi evolusi oksigen dan evolusi hidrogen). Hal ini menunjukkan stabilitas elektrolit sekitar 1.6 V yang mana lebih lebar dari dekomposisi air (1.23V) [9].



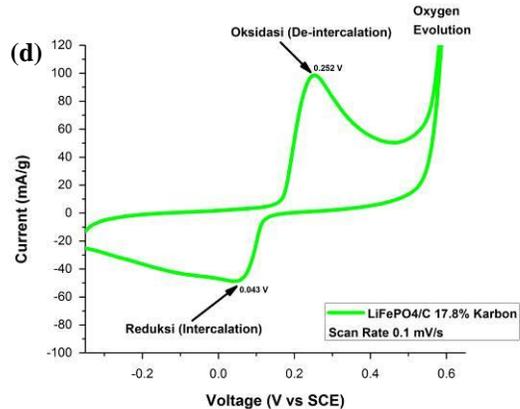
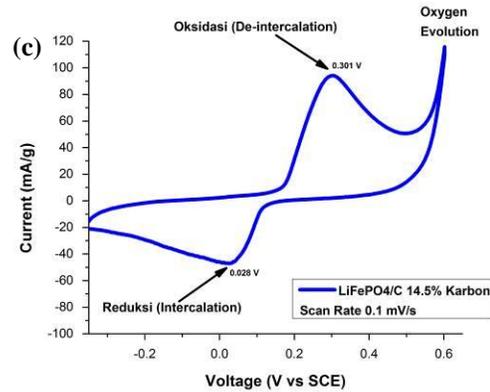
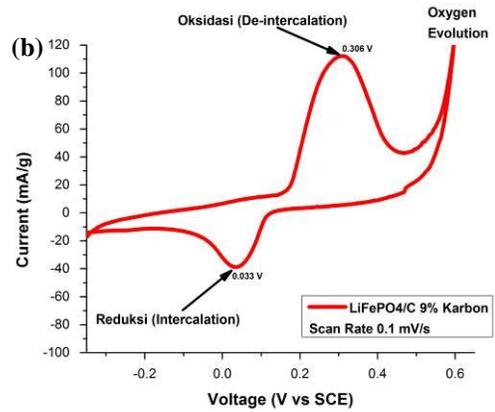
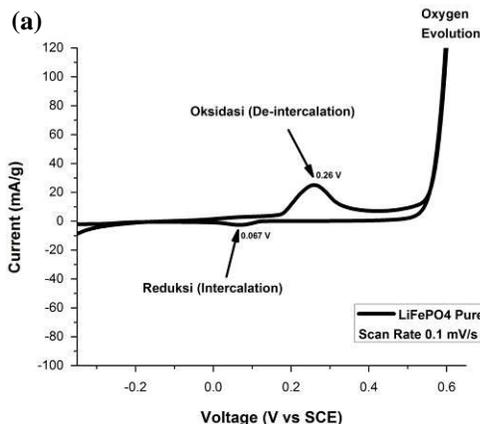
Gambar 7. Kurva polarisasi katodik dan anodic elektroda platina didalam aqueous electrolyte 1 M Li₂SO₄ dengan pH 13

Didalam larutan air yang mengandung garam lithium akan menyebabkan stabilitas elektrolit meningkat, dengan perubahan pH akan menggeser range voltase stabilitas aqueous electrolyte [10].

Pada gambar 8 menunjukan cyclic voltammogram LiFePO₄ dengan variasi tanpa coating, 9% karbon coating, 14.5% karbon coating, dan 17.8% karbon coating didalam larutan 1 M Li₂SO₄ dengan pH 13 yang memiliki satu pasang puncak reaksi reduksi dan oksidasi (redoks) yang mengindikasikan adanya interkalasi dan de-interkalasi Li⁺ pada host katoda LiFePO₄, sesuai dengan persamaan:



LiFePO₄ tanpa coating memiliki puncak redoks terletak pada 0.06 V dan 0.26 V yang memiliki intensitas arus -2.2 mA g⁻¹ dan +21.2 mA g⁻¹, LiFePO₄ dengan karbon coating 9% memiliki puncak redoks terletak pada 0.03 V dan 0.30 V yang memiliki intensitas arus -32.9 mA g⁻¹ dan +95.3 mA g⁻¹, LiFePO₄ dengan karbon coating 14.5% memiliki puncak redoks terletak pada 0.02 V dan 0.30 V yang memiliki intensitas arus -40.0 mA g⁻¹ dan +80.0 mA g⁻¹, dan LiFePO₄ dengan karbon coating 17.8% memiliki puncak redoks terletak pada 0.04 V dan 0.25 V yang memiliki intensitas arus -41.4 mA g⁻¹ dan +83.7 mA g⁻¹.



Gambar 8. Cyclic voltammograms LiFePO₄/C didalam aqueous elektrolit 1 M Li₂SO₄ pH 13 dengan scan rate 0.1 mV/s : (a) LiFePO₄ tanpa coating, (b) LiFePO₄/C 9% karbon, (c) LiFePO₄/C 14.5% karbon, dan (d) LiFePO₄/C 17.8% karbon

Pada cyclic voltammogram (gambar 8) terlihat bahwa LiFePO₄ tanpa coating memiliki puncak intensitas arus redoks yang paling rendah, hal ini dikarenakan LiFePO₄ memiliki konduktivitas yang rendah. Setelah proses karbon coating pada LiFePO₄ menggunakan sukrosa intensitas arus puncak redoks LiFePO₄ meningkat yang berarti memperbaiki sifat konduktivitas LiFePO₄, akan tetapi penambahan karbon coating dari sukrosa hanya memperbaiki sifat konduktivitas elektronik tetapi tidak memperbaiki sifat konduktivitas ionik, oleh karena itu terjadi penurunan pada puncak oksidasi seperti gambar 4.c dan 4.d. Hal ini dikarenakan ion lithium susah keluar dari host katoda LiFePO₄ dikarenakan semakin tebalnya karbon yang ada pada permukaan LiFePO₄.

Penambahan karbon juga meningkatkan stabilitas LiFePO_4 didalam *aqueous electrolyte* walaupun terkena evolusi oksigen pada saat reaksi reduksi.

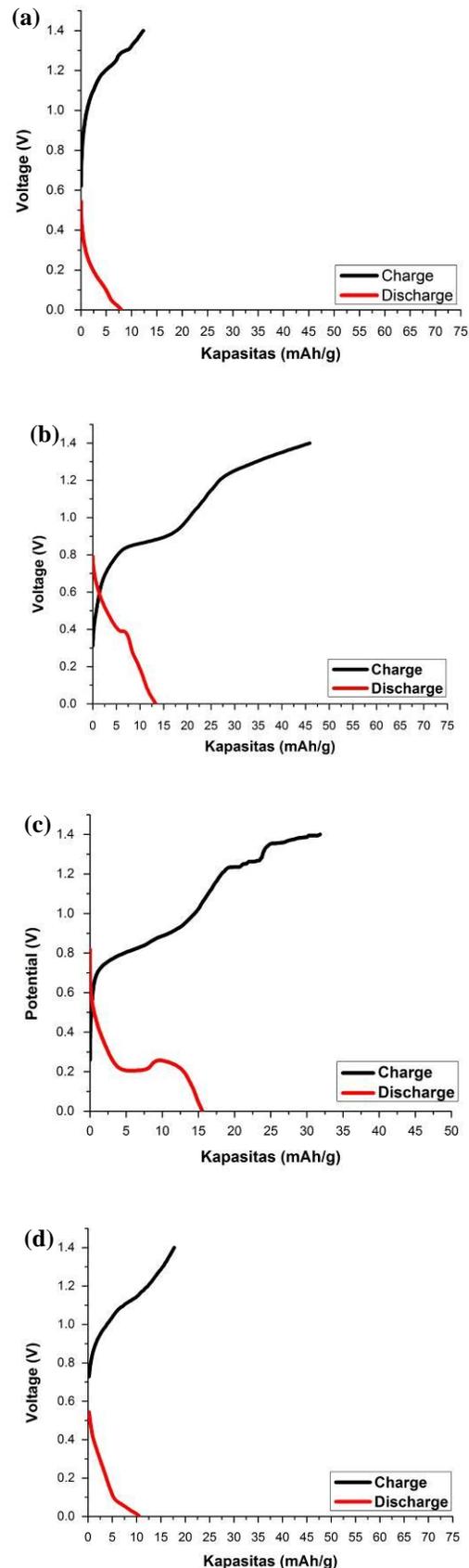
Performa elektrokimia katoda dapat dilihat dari *galvanostatic charge/discharge* yang menggunakan katoda, anoda, dan elektrolit (*aqueous electrolyte* 1 M Li_2SO_4 pH 13) yang dirangkai menjadi satu sel baterai yang dapat dilihat pada table 1 menggunakan 0.5 C.

Tabel 1.

Massa material aktif dan *current density* dari sel anoda $\text{LiTi}_2(\text{PO}_4)_3/\text{C}$ dan katoda LiFePO_4/C .

No.	Material anoda dan katoda	Massa material aktif anoda dan katoda (mg)	Current density (0.5 C) anoda dan katoda (mA)
1	$\text{LiTi}_2(\text{PO}_4)_3$ tanpa coating // LiFePO_4 tanpa coating	10.625//11.05	0.733//0.939
2	$\text{LiTi}_2(\text{PO}_4)_3$ 8% C // LiFePO_4 9% C	5.1//6.8	0.352//0.578
3	$\text{LiTi}_2(\text{PO}_4)_3$ 13% C // LiFePO_4 14.5% C	6.035//6.63	0.416//0.563
4	$\text{LiTi}_2(\text{PO}_4)_3$ 17.2% C // LiFePO_4 17.8% C	9.01//7.905	0.621//0.671

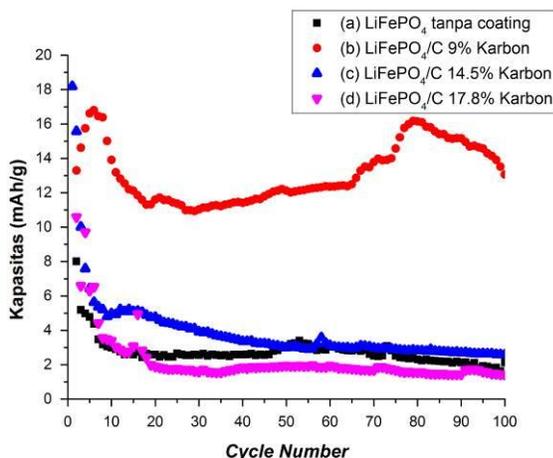
Dari Pengujian *charge/discharge* dengan range 0-1.4 V didapatkan hasil *cycle* pertama pada gambar 8.a menghasilkan kapasitas *charge* dan *discharge* sebesar 12.3 mAhg^{-1} dan 8 mAhg^{-1} , gambar 8.b menghasilkan kapasitas *charge* dan *discharge* sebesar 45.9 mAhg^{-1} dan 13.3 mAhg^{-1} , gambar 8.c menghasilkan kapasitas *charge* dan *discharge* sebesar 31.8 mAhg^{-1} dan 15.5 mAhg^{-1} , dan gambar 8.d menghasilkan kapasitas *charge* dan *discharge* sebesar 17.7 mAhg^{-1} dan 10.8 mAhg^{-1} . Dari hasil pengujian ini terlihat bahwa LiFePO_4 tanpa karbon *coating* memiliki kapasitas yang rendah yang dikarenakan sifat konduktivitas yang rendah yang menyebabkan elektron lamban mengalir diantara partikel LiFePO_4 menuju *current collector* (*stainless steel mesh*). Pada LiFePO_4 dengan karbon *coating* 17.8% menunjukkan penurunan kapasitas yang signifikan, hal ini disebabkan banyaknya karbon *coating* yang menempel pada permukaan partikel LiFePO_4 dan terjadinya aglomerasi (menggumpal) yang menyebabkan ion lithium susah keluar maupun masuk kedalam host LiFePO_4 .



Gambar 9. Typical kurva *charge/discharge* sel $\text{LiFePO}_4 / \text{LiTi}_2(\text{PO}_4)_3$ didalam *aqueous electrolyte* 1 M Li_2SO_4 dengan pH 13 pada 0.5 C: (a) Sel $\text{LiFePO}_4 / \text{LiTi}_2(\text{PO}_4)_3$ tanpa coating, (b) Sel LiFePO_4/C 9% / $\text{LiTi}_2(\text{PO}_4)_3/\text{C}$ 8%, (c) Sel

LiFePO₄/C 14.5% / LiTi₂(PO₄)₃/C 13% , (d) Sel LiFePO₄/C 17.8% / LiTi₂(PO₄)₃/C 17.2%

Pada LiFePO₄ dengan karbon coating 9% dan 14.5% memiliki kapasitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa coating dan 17.8%, hal ini mengindikasikan bahwa karbon coating dengan 9% dan 14.5% merupakan komposisi yang terbaik dibandingkan tanpa coating dan 17.8%, hanya saja pada LiFePO₄ dengan karbon coating 14.5% mengalami penurunan kapasitas yang tajam setelah cycle pertama (gambar 9.c), sedangkan LiFePO₄ dengan karbon coating 9% mengalami kenaikan kapasitas sampai cycle ke lima dan kemudian mengalami penurunan secara fluktuatif, hal ini mungkin disebabkan oleh oksigen evolusi yang terjadi pada aqueous electrolyte dan oksigen yang terlarut pada elektrolit.



Gambar 10. Kemampuan cycle discharge sel LiFePO₄ / LiTi₂(PO₄)₃ didalam aqueous electrolyte 1 M Li₂SO₄ dengan pH 13 pada rate 0.5 C: (a) Sel LiFePO₄ / LiTi₂(PO₄)₃ tanpa coating , (b) Sel LiFePO₄/C 9% / LiTi₂(PO₄)₃/C 8%, (c) Sel LiFePO₄/C 14.5% / LiTi₂(PO₄)₃/C 13% , (d) Sel LiFePO₄/C 17.8% / LiTi₂(PO₄)₃/C 17.2%

Kemampuan cycle sel LiFePO₄ tanpa coating / LiTi₂(PO₄)₃ pada cycle pertama menunjukkan kapasitas discharge 8 mAhg⁻¹ dan pada cycle ke 100 menjadi 2.1 mAhg⁻¹ yang menunjukkan kapasitas yang hilang sebesar 73.7%, LiFePO₄/C 9% / LiTi₂(PO₄)₃/C 8% pada cycle pertama menunjukkan kapasitas discharge 13.3 mAhg⁻¹ dan pada cycle ke 100 menjadi 13.0 mAhg⁻¹ yang menunjukkan kapasitas yang hilang sebesar 2.2%, LiFePO₄/C 14.5% / LiTi₂(PO₄)₃/C 13% pada cycle pertama menunjukkan kapasitas discharge 15.5 mAhg⁻¹ dan pada cycle ke 100 menjadi 2.5 mAhg⁻¹ yang menunjukkan kapasitas yang hilang sebesar 83.8%, dan LiFePO₄/C 17.8% / LiTi₂(PO₄)₃/C 17.2% pada cycle pertama menunjukkan kapasitas discharge 10.8 mAhg⁻¹ dan pada cycle ke 100 menjadi 1.4 mAhg⁻¹ yang menunjukkan kapasitas yang hilang 87%

Kapasitas yang menurun sangat tajam mungkin dikarenakan adanya evolusi oksigen yang telah terjadi proses charge yang mencapai voltase 1.4 V. Selain itu faktor oksigen yang terlarut dan jarak antara anoda dan katoda menyebabkan lambatnya ion lithium keluar masuk dari katoda ke anoda begitu juga sebaliknya.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Konduktif karbon coating LiFePO₄ (LiFePO₄/C) dapat dibuat dengan penambahan sukrosa yang telah dilarutkan dalam air suling sebagai sumber karbon dan dilanjutkan dengan proses kalsinasi pada temperatur 600°C dengan holding time 3 jam. Semakin banyak sukrosa yang digunakan semakin banyak pula karbon sisa yang menempel pada partikel LiFePO₄ yang menyebabkan partikel LiFePO₄ menggumpal (aglomerasi), penambahan dari sukrosa sebagai sumber karbon tidak merubah struktur kristal dari LiFePO₄.

Pengujian performa elektrokimia cyclic voltammetry dan galvanostatic charge/discharge didapatkan penambahan karbon coating dari sukrosa dapat memperbaiki konduktivitas elektronik dan meningkatkan stabilitas elektroda didalam aqueous electrolyte tetapi penambahan karbon mengurangi nilai kapasitasnya, hal ini dikarenakan material LiFePO₄ mengaglomerat (menggumpal) yang dapat mengurangi sifat konduktivitas ioniknya.

B. Saran

1. Pada saat pengujian cyclic voltammetry dan galvanostatic charge discharge sebaiknya dilakukan ditempat yang tidak mengandung oksigen (vacuum)
2. Untuk pengujian galvanostatic charge discharge sebaiknya menggunakan sel tertutup (coin cell).
3. Mempertimbangkan stabilitas aqueous electrolyte dengan cara bervariasi garam lithium dan pH.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wakira, Masaka. J. Materials Science and Engineering R 33 (2001) 109-134
- [2] Mi, C.H., Zhang, C.G., Li, H.L. Journal of Electroanalytical Chemistry 602 (2007) 245-254
- [3] Meijie, Zhang., And Dahn, J.R. J. Electrochem. Soc., Vol. 143, (1996), 9
- [4] Manickam, Minakshi., Singh, Pritam., Thurgate, Stephen., And Prince, Kathryn. Journal of Power Sources 158 (2006) 646-649
- [5] Padhi, A.K., Nanjundaswamy, K.S., And Goodenough, J.B., J. Electrochem., Soc., Vol. 144., (1997), 4
- [6] Wu, Borong., Ren, Yonghuan., And Li, Ning, 2011. "LiFePO₄ Cathode Material". Electric Vehicles The Benefits and Barriers. ISBN: 978-953-307-287-6
- [7] Schiweck, Hubert. (2012). **Sugar**. Germany: Sudzucker AG Mannheim/Ochsenfurt, Mannheim
- [8] Noh, Mijung., Kwon Yoojung., Lee, Hyojin., Cho, Jaephil., Kim, Yoojin., and Kim, Min Gyu. Chem. Mater. (2005), 17, 1926-1929
- [9] Jayalakshmi, M and Mohan Rao, M. 2005. S Journal of Power Sources 157 (2006) 624-629