

Pengaruh Temperatur *Hydrothermal* terhadap Performa Elektrokimia LiFePO_4 sebagai Katoda Baterai *Ion Lithium Type Aqueous* Elektrolit

Hendro Waluyo dan Lukman Noerochiem

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Kampus ITS, Keputih, Surabaya 60111

E-mail: lukmanits@gmail.com

Abstrak—Katoda yang biasa digunakan produsen baterai lithium saat ini adalah LiCoO_2 . Dimana LiCoO_2 memiliki beberapa kekurangan beracun, tidak stabil, dan harganya mahal. Bahan katoda yang sangat menjanjikan adalah lithium iron phosphate (LiFePO_4) untuk bisa menggantikan LiCoO_2 . Dalam proses sintesis katoda LiFePO_4 pada penelitian ini menggunakan metode *hydrothermal* dengan variasi temperatur 150°C , 175°C dan 200°C selama 12 jam untuk waktu holdingnya. Dari hasil pengujian XRD menunjukkan terbentuknya fase LiFePO_4 pada semua sampel, namun masih ditemukan zat pengotor. Untuk hasil uji SEM, serbuk LiFePO_4 memiliki bentuk bulat tidak beraturan dan terjadi aglomerasi. Serbuk LiFePO_4 dengan variasi temperatur 200°C memiliki *performance* yang paling baik dengan nilai kapasitas sebesar 109.32 mA/g hal ini karena dari hasil CV menunjukkan kinetik tranfer ion Lithium yang baik akibat distribusi ukuran partikel yang merata dan juga tingkat kristanilitas yang tinggi.

Kata Kunci—Katoda, LiFePO_4 , Temperatur *Hydrothermal*, *performance* LiFePO_4

I. PENDAHULUAN

KEMAJUAN teknologi yang sangat pesat membutuhkan keseimbangan dalam konsumsi energi yang digunakan pada alat-alat elektronik saat ini. Alat-alat elektronik seperti handphone, tablet, gadget portable, dan lain-lain membutuhkan alat penyimpanan energi yang sesuai dengan kebutuhan jaman, yaitu penyimpanan energi yang memiliki kapasitas penyimpanan energi yang tinggi dengan bentuk yang tipis seperti yang diinginkan. Salah satu alat penyimpanan energi yang baik adalah baterai lithium-ion. Baterai lithium-ion melibatkan insertion/ extraction dari ion-ion lithium secara bolak-balik dari/ke *host matrix* (material elektroda) selama proses *charge/ discharge*. Proses insertion/extraction lithium terjadi didalam elektrolit yang mengalir secara bolak-balik yang disertai dengan reaksi reduksi-oksidasi (redoks) didalam *host matrix* dibantu dengan aliran dari elektron yang melalui eksternal sirkuit [1].

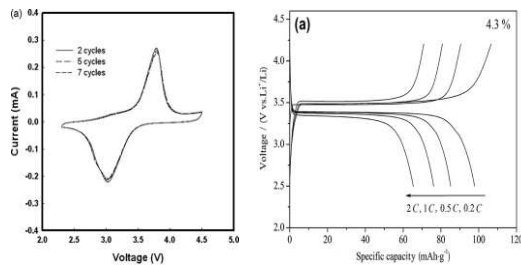
Katoda yang biasa digunakan produsen baterai lithium adalah LiCoO_2 . Walaupun LiCoO_2 memiliki kapasitas teori spesifik yang besar (274 mAh/g), spesifik energi yang tinggi (0.98 Wh/g), densitas yang tinggi (5.10 g/cm^3) [2]. Tetapi pada kenyataannya katoda LiCoO_2 hanya setengah kapasitas

teoritis yang dapat digunakan. Selain itu material LiCoO_2 beracun, tidak stabil, dan harganya mahal [3]. Bahan katoda yang sangat menjanjikan adalah *lithium iron phosphate* (LiFePO_4) dengan struktur *phospho-olivine* dengan kapasitas teoritis 170 mAh/g, spesifik energi 0.59 Wh/g, dan densitas 3.60 g/cm^3 rata-rata *voltage* 3.5 V, harga murah, tidak beracun, ramah terhadap lingkungan dan memiliki stabilitas thermal yang baik [4].

Dalam beberapa tahun terakhir, olivin LiFePO_4 sangat ekstensif dipelajari sebagai bahan katoda untuk baterai Li ion karena kapasitas teoritis tinggi (170 mAh/g), stabil, murah dan ramah lingkungan. Namun, tingkat kinerja yang buruk telah membatasi aplikasinya. Faktor utama untuk tingkat kinerja yang buruk adalah kemampuan yang dikaitkan dengan konduktivitas elektronik intrinsik yang buruk [5]. Lithium Besi Fosfat (LiFePO_4) merupakan material katoda dari baterai lithium ion yang memiliki kapasitas teoritik yang cukup tinggi yaitu 170 mAh/g. Selain itu LiFePO_4 memiliki kelebihan tegangan stabil di $\sim 3,5 \text{ V}$, murah karena bahan dasarnya (besi) melimpah di alam, tidak memiliki efek memori, dan ramah lingkungan. Namun material ini memiliki kekurangan yaitu konduktivitas elektronik dan koefisien difusi ion lithiumnya yang rendah. LiFePO_4 memiliki konduktivitas yang rendah (lithium ion *diffusion coefficient* $10^{-14} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$) dan konduktivitas listrik (10^{-9} Scm^{-1}). Difusi lithium yang rendah dapat diatasi dengan menurunkan dimensi partikel sampai skala nanometer. Untuk mengatasi konduktivitas listrik yang rendah dapat diatasi juga dengan *conductive agent* seperti penambahan karbon dan polimer yang dapat meningkatkan *performance* LiFePO_4 [6]. Ada banyak cara yang sudah dikembangkan untuk meningkatkan konduktivitas elektronik dan ionik dan meningkatkan performa katoda seperti *coating* karbon, *coating* dengan logam atau logam oksida, doping dengan ion, dan optimasi ukuran partikel dan morfologi. Sintesis LiFePO_4 telah dilakukan dengan berbagai metode seperti *solid state*, *sol-gel*, *spray pyrolysis*, *microwave*, *karbotermal*, *hidrotermal*, *solvotermal*.

Pada penelitian kali ini, sintesis katoda LiFePO_4 untuk baterai lithium menggunakan metode sintesis *hydrothermal* untuk menurunkan dimensi partikel sampai skala nanometer dengan variasi temperatur *hydrothermal*. Metode *hydrothermal* dipilih karena memiliki proses yang tidak rumit seperti metode

sol-gel serta dapat menghasilkan partikel dalam ukuran nanometer. Untuk itulah dalam tugas akhir ini menggunakan metode sintesis *hydrothermal* pada proses pembuatannya agar didapatkan hasil yang tepat sehingga mendapatkan kapasitas yang mendekati kapasitas teoritis LiFePO_4 .



Gambar 1. CV dari LiFePO_4 dalam elektrolit organik Kurva *charge/discharge* LiFePO_4 dengan variasi current density

I. METODOLOGI PENELITIAN

LiFePO_4 disintesis dengan menggunakan metode *hydrothermal*. Proses sintesis dengan metode ini menggunakan serbuk LiOH , $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, dan larutan H_3PO_4 sebagai bahan dasar, dengan perbandingan molaritas $\text{Li} : \text{Fe} : \text{P}$ adalah $3 : 1 : 1$. Pada campuran dasar ini ditambahkan *ascorbic acid*, untuk menjaga Fe tidak teroksidasi menjadi ferric. Proses sintesis dimulai dengan stiring atau pencampuran bahan dasar, yang diawali dengan membuat larutan LiOH 1M, berikutnya ditambahkan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, dan larutan H_3PO_4 . Bahan dasar yang sudah dicampur dimasukkan dalam *autoclave*, dan dipanaskan dalam oven dengan variasi temperatur 150°C , 175°C dan 200°C , selama 12 jam. Setelah proses *hydrothermal*, serbuk LiFePO_4 yang terbentuk dicuci menggunakan aquades dan dikeringkan dalam oven pada temperatur 110°C selama 12 jam.

Serbuk LiFePO_4 yang sudah dikeringkan, berikutnya dikarakterisasi dengan *X-Ray diffraction* untuk mengetahui fase yang terbentuk. Sudut αCuK yang digunakan adalah $10^\circ - 90^\circ$, dengan kecepatan *scanning* 5°min^{-1} . Untuk mengetahui ukuran partikel, dilakukan karakterisasi menggunakan SEM dengan perbesaran $50.000 - 100.000 \times$.

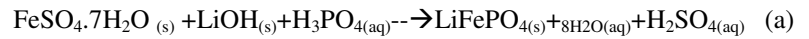
Sampel yang sudah dikarakterisasi, berikutnya dilakukan proses *assembly* dengan membuat campuran LiFePO_4 dengan *carbon black* (untuk memperbaiki konduktivitas LiFePO_4 dan juga PVDF (sebagai binder), perbandingan massa adalah $70 : 25 : 5$. Campuran dilarutkan pada NMP sebagai larutan pelarut dari LiFePO_4 , *Carbon black* dan PVDF. Berikutnya, campuran dioleskan pada *stainless steel* dengan ukuran $1 \times 3 \text{ cm}^2$, dan luasan olesan sebesar 1 cm^2 . Berikutnya *thin film* yang sudah dioles dikeringkan pada temperatur 100°C selama 2 jam. Untuk elektrolit yang digunakan adalah *aqueous* dengan menambahkan serbuk Li_2SO_4 dan LiOH membentuk 1 M larutan, dengan keadaan PH 13.

Untuk uji *performance* dilakukan dua pengujian, yaitu *cyclic voltametry (CV)* dan *Galvanostatic charge discharge*. Untuk uji CV, digunakan range voltase $-1 - 0,8 \text{ V}$ dengan *scan rate* $0,1 \text{ mV}$. Pada uji CV ini, digunakan SCE sebagai *reference* dan logam Pt sebagai *Counter*. Untuk uji *Galvanostatic charge*

discharge, range voltase yang digunakan adalah $0 - 1 \text{ V}$ dengan *scan rate* 1 C .

II. HASIL DAN DISKUSI

Proses sintesis LiFePO_4 dimulai dengan mereaksikan perkursor-perkursor dengan metode *hydrothermal*. Proses reaksi kimia dengan metode *hydrothermal* memanfaatkan tekanan yang ditimbulkan dari energi panas yang diberikan pada *autoclave*. Untuk reaksi pembentukan LiFePO_4 seperti pada persamaan a reaksi berikut ini :

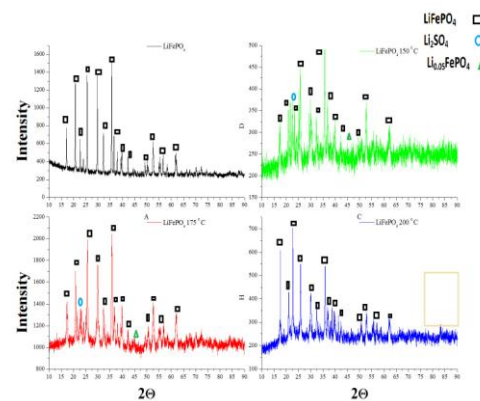


Serbuk yang telah melalui proses sintesis *hydrothermal* dan proses pencucian dan *drying* (Variasi $T = 150^\circ\text{C}$, 175°C dan 200°C), diambil sebagian untuk dikarakterisasi fasa-fasa yang terbentuk pada serbuk, serta ukuran kristal dan partikel serbuk. Untuk karakterisasi fasa yang terbentuk pada serbuk menggunakan mesin uji XRD dengan sudut 2θ antara $10^\circ - 90^\circ$, menggunakan sinar X dari αCu pada kulit K yang ditembakkan pada serbuk. Hasil dari uji XRD juga digunakan untuk menentukan ukuran kristal yang terbentuk. Untuk mengetahui ukuran partikel menggunakan alat uji SEM dengan perbesaran $5000 \times - 100.000 \times$. Berikut hasil data karakterisasi dari serbuk LiFePO_4 :

Untuk mengetahui *performance* dari sampel LiFePO_4 sebagai hasil dari sintesis menggunakan metode *hydrothermal* dengan variasi temperatur tahanan, dilakukan dua pengujian untuk mengetahui voltase dan juga kapasitas dari sampel LiFePO_4 , yaitu uji CV dan *Galvanostatic charge/discharge*.

A. Hasil Pengujian XRD

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui perubahan yang terjadi karena adanya perlakuan yang diberikan kepada sampel. XRD dilakukan dengan menggunakan mesin Philips Analytical dengan range sudut $10^\circ - 90^\circ$ dan panjang gelombang sebesar 1.54056 \AA



Gambar 2. Perbandingan Hasil Pengujian XRD sampel dengan beberapa variasi temperature dan *reference*

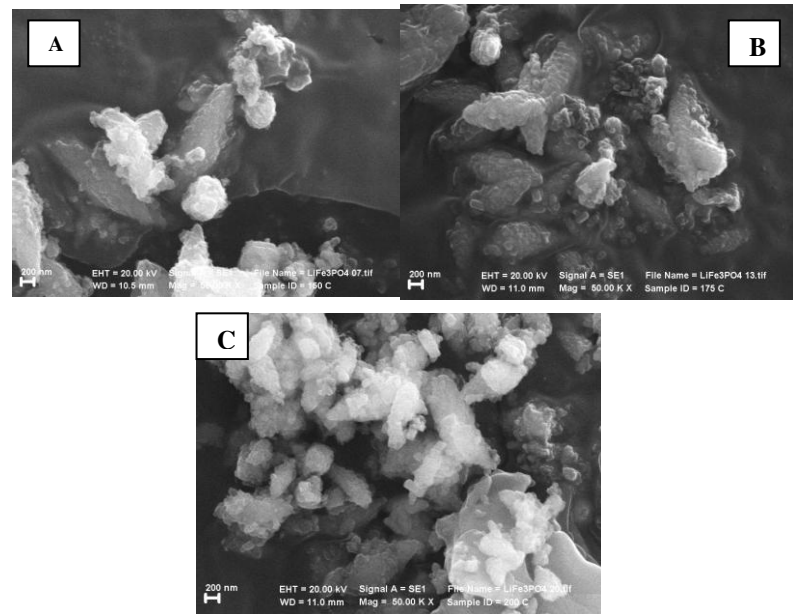
Puncak-puncak difraksi pada variasi temperatur 150°C memiliki kesamaan dengan JCPDS nomor 00-040-1499, yang

memiliki struktur kristal *orthorhombic*. Pada sampel variasi temperatur 150°C ditemukan beberapa difraksi bukan LiFePO₄ sesuai dengan JCPDS nomer 00-040-1499 yaitu pada posisi 2θ dengan tingkat intensitas 148.38 yang merupakan senyawa Li₂SO₄ sesuai dengan JCPDS nomer 01-084-0649. Hal ini terjadi karena ion Li¹⁺ dimana adalah unsur alkali berikatan dengan ion SO₄²⁻ membentuk senyawa Li₂SO₄, hal ini dikarenakan reaksi kimia yang terjadi tidak sempurna sehingga ion Li¹⁺ tidak semua menjadi LiFePO₄ secara sempurna. Puncak-puncak difraksi yang muncul pada sampel XRD variasi temperatur 175°C memiliki kesamaan dengan JCPDS nomer 00-040-1499 yang teridentifikasi LiFePO₄ dengan struktur kristal *orthorhombik*. Pada variasi sampel temperatur 175 °C terdapat peak lain pada posisi 2θ 22.8919⁰ dan 42.2280⁰ yaitu Li_{0,05}Fe(PO₄) sesuai dengan JCPDF nomer 01-075-7952. Pada sampel variasi temperatur 175°C juga ditemukan peak bukan LiFePO₄ sesuai dengan JCPDS nomer 00-040-1499 yaitu pada posisi 2θ dengan tingkat intensitas 148.38 yang merupakan senyawa Li₂SO₄ sesuai dengan JCPDS nomer 01-084-0649. Pada sampel dengan temperatur 200°C, unsur yang diketahui adalah LiFePO₄. Pada hasil analisa dari grafik XRD *peak* teridentifikasi sebagai LiFePO₄ berdasarkan data pada JCPDS nomer 00-040-1499 dan teridentifikasi sebagai Li_{0,05}Fe(PO₄) yang dicocokkan dengan JCPDF nomor 01-084-0649. Unsur-unsur tersebut merupakan senyawa yang memiliki indeks oksidasi Li bukan satu, dan bukan sebagai senyawa LiFePO₄ yang diinginkan. Tingkat kristalinitas pada tiga sampel dapat dianalisa, bahwa dari ketiga sampel yang memiliki tingkat kristalinitas yang baik adalah pada sampel 175°C dan 200°C, hal ini ditunjukkan dengan tingkat intensitas peak yang tinggi dari hasil XRD pada kedua sampel. Tingkat intensitas peak ini berpengaruh pada sifat kapasitas dan sifat kinetik dari katoda LiFePO₄.

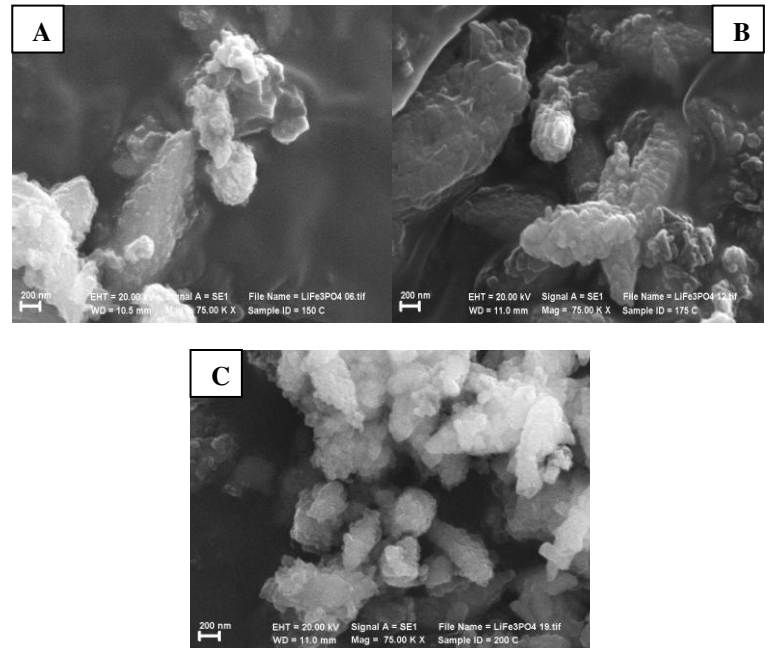
B. Hasil Pengujian SEM

SEM digunakan untuk meneliti morfologi tiap daerah pada suatu material. Beberapa kekurangan dari LiFePO₄ seperti konduktivitas elektronik rendah dan pergerakan ion lithium yang lambat melalui interface LiFePO₄/FePO₄ yang dapat menyebabkan kehilangan kapasitas pada arus tinggi. Untuk itu dilakukan beberapa cara peningkatan performance LiFePO₄ diantaranya adalah pengurangan ukuran partikel dari LiFePO₄ yang berpengaruh pada difusitas dari LiFePO₄, ketika proses charge discharge memudahkan dalam pergerakan ion Li itu sendiri. Analisis yang digunakan untuk menentukan ukuran partikel adalah menggunakan uji SEM yang diamati secara visual dan dapat ditentukan ukuran partikelnya.

Gambar 4, 5 dan 6 menunjukkan hasil SEM menggunakan alat SEM setelah proses sintesis *Hydrothermal* dengan waktu holding selama 12 jam. Perbesaran yang dilakukan pertama pada uji SEM berturut adalah mulai perbesaran 50.000 X, 75.000 X dan 100.000 pada posisi yang sama sebagai berikut :



Gambar 3. Gambar partikel LiFePO₄ variasi temperatur *hydrpthermal* (A) 150 °C, B) 175 °C, (C) 200 °C dengan perbesaran 50.000 X

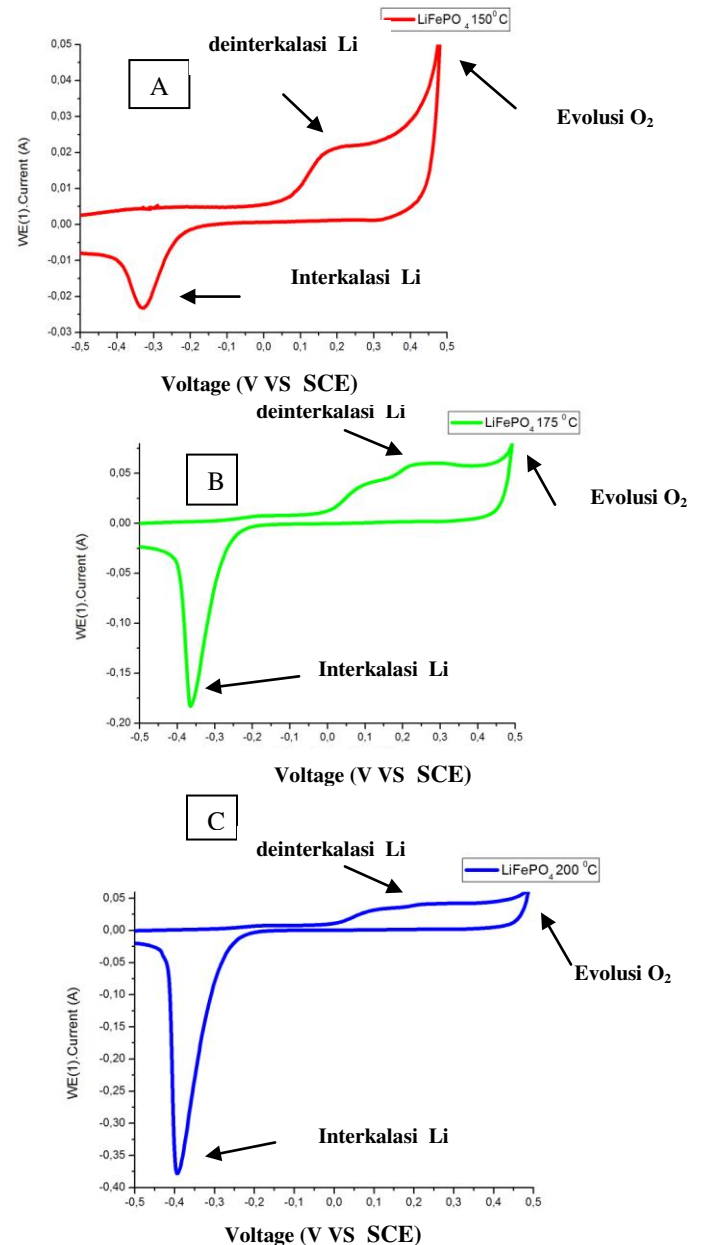


Gambar 4 Gambar partikel LiFePO₄ variasi temperatur *hydrpthermal* (A) 150 °C, (B) 175 °C, (C) 200 °C dengan perbesaran 75.000 X

C. Hasil Pengujian Cyclic Voltametry (CV)

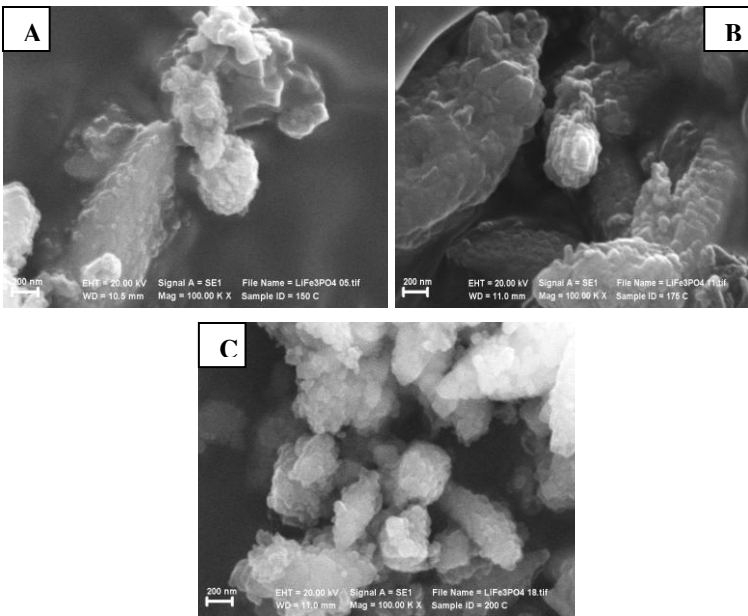
Elektroda kerja yang digunakan sebagai elektroda kerja atau *working* adalah LiFePO_4 . Elektroda pembanding pada uji ini menggunakan SCE calomel. Elektrode bantu pada uji CV ini menggunakan Pt sebagai logam inert.

Elektrolit yang digunakan adalah larutan *aqueos* dengan konsentrasi 1 M, dengan potensial *range* -1 sampai 0,8. *Scan rate* yang digunakan adalah 0,01 mV karena memang reaksi termasuk reaksi lambat (Ade,2014).



Gambar 6. Hasil Pengujian CV (A) 150°C, (B) 175°C (C) 200°C

Pada gambar grafik diatas dapat diamati adanya reaksi oksidasi dan reduksi yang terjadi pada range -0.4 V sampai 0.4 V, yang ditunjukkan dengan munculnya peak pada grafik. Peak oksidasi terjadi pada grafik yang menghadap keatas dan peak reduksi terjadi pada peak puncak yang menghadap keatas. Untuk reaksi oksidasi terjadi pada titik puncak X (potensial



Gambar 5. Gambar partikel LiFePO_4 variasi temperatur *hydrphthermal* (A) 150 °C, (B) 175 °C, (C) 200 °C dengan perbesaran 100.000 X

Dari hasil gambar SEM dengan perbesaran 50.000 X, 75.000 X dan 100.000 X, dapat dilihat bersama ukuran partikel yang terbentuk pada ketiga sampel adalah pada kisaran 100 nm-500 nm, dengan bentuk partikel bulat lonjong tidak beraturan.

Dari ketiga variasi temperatur pada gambar diatas dapat dibandingkan mengenai distribusi atau sebaran ukuran pada tiap-tiap sampel. Pada sampel dengan variasi temperatur 150 °C dapat dilihat kurang meratanya ukuran partikel pada sampel pada uji SEM, karena terjadinya aglomerasi pada sampel dimana beberapa partikel bergabung menjadi satu sehingga kelihatan seperti partikel yang besar. Pada sampel 175 °C dapat dilihat terjadi hal yang sama dengan sampel 150 °C, yaitu terjadinya aglomerasi pada sampel, namun pada sampel masih ditemukan beberapa partikel yang berdiri sendiri tetapi tidak dominan dan tidak tersebar secara merata. Pada sampel 200 °C dapat dilihat terjadinya aglomerasi, tetapi pada sampel ini distribusi ukuran partikel tersebar secara merata bila dibandingkan dengan sampel 150 °C dan 175 °C, walaupun masih ditemukan beberapa yang teraglomerasi. Aglomerasi yang terjadi dapat menurunkan konduktifitas ionik dari interkalasi/de-interkalasi ion lithium sehingga dapat menyebabkan kapasitas menurun. Ukuran partikel yang terbentuk bila semakin kecil akan menambah luasan *surface area*, hal ini berpengaruh pada saat uji *performance* dimana luasan *surface area* yang lebih besar akan menambah kontak dengan elektrolit sehingga banyak ion lithium yang masuk maupun keluar dari katoda, sehingga memperbaiki *performance* dari katoda LiFePO_4 . Dari ketiga sampel tersebut dapat kita lihat ukuran partikel yang memiliki luasan *surface area* yang besar adalah pada sampel 200 °C, dimana lebih tersebar secara merata.

applied) sebesar 0.19 V dan sumbu Y(*WE Current*) sebesar $6,78 \times 10^{-5}$ A. Untuk reaksi Reduksi terjadi pada titik puncak X (potensial *applied*) sebesar -0.73 V dan sumbu Y(*WE Current*) sebesar $7,39 \times 10^{-5}$ A. Pada gambar 4.5 dapat dilihat pada *range* diatas 0.4 V terbentuk oksida dimana ion Li yang seharusnya terus mengalir dari katoda ke anoda, namun berikatan dengan oksigen membentuk oksida yang ditunjukkan dengan grafik yang mulai naik. Pada pengujian CV yang digunakan adalah hanya satu *circle*, karena ketika dilakukan untuk yang kedua kalinya, yang mengalami reaksi redoks bukanlah LiFePO_4 namun oksida yang terbentuk. Sesuai dengan hasil XRD pada karakterisasi sampel 150°C sebelumnya, pada sampel ini tingkat kristanilitas yang masih rendah dan juga pengaruh aglomerasi pada sampel seperti pada hasil uji SEM sehingga mempengaruhi proses interkalasi/deinterkalasi ion lithium dan transport kinetik dalam menentukan peran intensitas puncak hasil reaksi redoks dalam pengujian CV. Semakin banyak aglomerasi yang terjadi maka proses interkalasi / deinterkalasi, transport kinetik dan konduktivitas ionik menurun. Pada sampel ini juga dapat ditentukan jarak antar titik redoks, yang mengidentifikasi cepat atau lambatnya transfer ion Lithium dalam elektrolit sehingga dapat mempengaruhi kapasitas spesifiknya. Pada sampel ini jarak yang terbentuk adalah 0.92 V.

Untuk sampel 175°C , reaksi oksidasi terjadi pada titik puncak X (potensial *applied*) sebesar 0.25 V dan sumbu Y(*WE Current*) sebesar $2,29 \times 10^{-4}$ A. Untuk reaksi Reduksi terjadi pada titik puncak X (potensial *applied*) sebesar -0.36 V dan sumbu Y(*WE Current*) sebesar $-6,95 \times 10^{-4}$ A. Pada gambar grafik pada sampel diatas, terjadi kenaikan yang sangat *significan* untuk nilai reduksi, dimana puncak yang terjadi sangat tinggi dibandingkan dengan sampel pada 150°C . Dari data CV diatas *range* jarak antara peak oksidasi dan reduksi pada sampel ini adalah sebesar 0.61 V. Pada sampel ini mengalami peningkatan puncak redoks seiring dengan kenaikan temperatur, hal ini yang pertama didukung dengan hasil XRD, dimana fasa yang terbentuk pada sampel tingkat kristanilitas yang lebih baik dari pada dengan sampel 150°C , sehingga kemurnian LiFePO_4 yang terbentuk juga mempengaruhi transport kinetik ion Lithium. Aglomerasi yang terbentuk ketika uji SEM dapat menurunkan nilai kintek transfer ion, sehingga kapasitas spesifik berkurang.

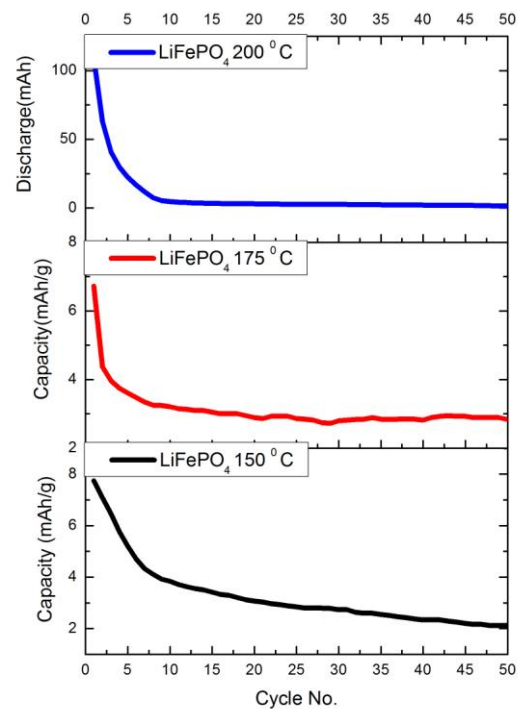
Hasil uji CV pada sampel LiFePO_4 dengan variasi temperatur 200°C , reaksi oksidasi terjadi pada titik puncak X (potensial *applied*) sebesar 0.23 V dan sumbu Y(*WE Current*) sebesar $1,81 \times 10^{-4}$ A. Untuk reaksi Reduksi terjadi pada titik puncak X (potensial *applied*) sebesar -0.39 V dan sumbu Y(*WE Current*) sebesar $-1,69 \times 10^{-3}$ A. Pada uji CV sampel ini didapati besarnya puncak reduksi lebih besar dibandingkan dengan puncak pada reaksi oksidasi, dan memiliki titik puncak tertinggi pada XY (-0.39 V, $-1,69 \times 10^{-3}$ A). Untuk *range* jarak antara peak oksidasi dan reduksi pada sampel ini adalah sebesar 0.62 V. Pada sampel ini mengalami peningkatan titik puncak redoks, hal ini didukung dengan hasil XRD dimana tingkat fase yang terbentuk pada sampel adalah LiFePO_4 , sehingga transfer ion lithium yang terjadi lebih banyak yang mengalami transfer ketika proses uji CV. Dan juga tingkat

didistribusi ukuran yang merata pada sampel ini mempengaruhi transport kinetik ion lithium pada proses interkalasi/dinterkalasi sehingga mempengaruhi peningkatan puncak redoks yang terjadi.

D. Hasil Pengujian Galvanostatic Charge Discharge

Uji ini didapatkan *capacity* untuk sampel 150°C adalah 7.73 mA/g. Hasil uji *charge/discharge* untuk variasi temperatur 175°C didapatkan *capacity* untuk sampel adalah 6.72 mA/g. Hasil uji *charge/discharge* untuk variasi temperatur 200°C didapatkan *capacity* untuk sampel adalah 109.32 mA/g. Pada hasil *charge/discharge* dapat dilihat dimana sampel yang memiliki kapasitas yang lebih besar adalah pada sampel 200°C , hal ini dikarenakan ukuran partikel yang terbentuk bila semakin kecil akan menambah luasan *surface area*, hal ini berpengaruh pada saat uji *performance* dimana luasan *surface area* yang lebih besar akan menambah kontak dengan elektrolit sehingga banyak ion lithium yang masuk maupun keluar dari katoda, sehingga memperbaiki *performance* dari katoda LiFePO_4 . Dari ketiga sampel tersebut dapat kita lihat ukuran partikel yang memiliki luasan *surface area* yang besar adalah pada sampel 200°C , dimana lebih tersebar secara merata.

Dari gambar 7 berikut dapat diamati ketahanan elektroda dalam proses *charge* dan juga *discharge* dengan *cycle* sebanyak 50 kali. Satu kali *cycle* adalah sama dengan satu proses *charge* (terjadinya reaksi oksidasi, dimana melepaskan ion Li dan elektron ke anoda) dan satu kali *discharge* (terjadinya reaksi reduksi, dimana ion Li dan elektron masuk ke katoda).



Gambar 7. Hasil Pengujian Galvanostatic charge discharge

Dari ketiga sampel dapat diamati bahawa *capacity* (mA/g) mengalami penurunan dratis pada *cycle* 5 dan terus mengalami penurunan hingga *cycle* 50. Tetapi dari ketiga sampel, sampel dengan temperatur 175 °C dan 200 °C mengalami penurunan yang relatif konstan bila dibandingkan dengan 150 °C, dengan kapasitas tertinggi adalah pada sampel 200 °C dan berturut-turut 175 °C serta 150 °C, namun sampel 200 °C. Untuk stabilitas pada *cycle* 1 hingga 50, pada sampel 200 °C memiliki stabilitas yang kurang baik, dimana mengalami penurunan kapasitas hingga 46.37 %. Sedangkan pada sampel 175 °C mengalami penurunan hingga 2.1 %, pada sampel 150 °C mengalami penurunan hingga 2.53 %. Pada sampel 150 °C dan 175 °C memiliki kapasitas yang kecil tetapi stabilitas yang baik, hal ini karena sulitnya ion lithium interkalasi/diinterkalasi pada host. Sifat kapasitas yang rendah dikarenakan sifat konduktifitas yang rendah, disebabkan adanya aglomerasi sehingga menurunkan konduktifitas ionik pada katoda sehingga kapasitas rendah.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Pengaruh kenaikan temperatur pada proses *hydrothermal* menghasilkan tingkat kristanilitas yang baik dengan ditunjukkan tingkat kenaikan peak pada sampel 175 °C dan 200 °C, serta distribusi ukuran partikel yang merata yang berpengaruh pada kapasitas dan sifat kinetik dari katoda LiFePO₄. Dari hasil SEM menunjukkan morfologi partikel yang terjadi berbentuk bulat tidak beraturan dan mengalami aglomerasi. Pengaruh kristanilitas dan distribusi ukuran yang baik seiring kenaikan variasi temperatur *hydrothermal* menghasilkan kapasitas dan kinetik yang optimal pada sampel 200 °C yaitu 109.32 mA/g serta titik reduksi oksidasi yang tinggi -0.39 V dan 0.23 V, yang memiliki range voltase 0.62 V. Dari penelitian memang masih jauh dari standart baterai ion lithium yang ada, dan diharapkan bisa dikembangkan untuk penelitian berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nazri, (2009), *Lithium Batteries: Science and Technology*, Springer, Miami in Rachman, Mochlesur.
- [2] Borong Wu, Yonghuan Ren and Ning Li. 2011. "LiFePO₄ Cathode Material". *Electric Vehicles The Benefits and Barriers*. ISBN: 978-953-307-287-6.
- [3] Molenda, Janina dkk. 2011. "Composite Cathode Material for Li-Ion Batteries Based on LiFePO₄ System". *Metal, Ceramic and Polymeric Composites for Various Uses*. ISBN: 978-953-307-353-8
- [4] Gunawan, Indra dkk., (2007), *Pengaruh Penambahan Polilaktat Pada Kinerja Bahan Katoda Komposit LiFePO₄ /C*. Tangerang : Puspiptek Serpong
- [5] Xiangfeng, Guan dkk. 2012. "Heterogeneous Nanostructured Electrode Materials for Lithium-Ion Batteries". *Recent Trends and Developments, Lithium Ion Batteries New Developments*. ISBN: 978-953-51-0077
- [6] Anies dkk. 2011. *Studi Awal Sintesis Material Katoda Lithium Besi Fosfat (LiFePO₄) dengan Metode Solvotermal pada Konsentrasi tinggi*. Tangerang : Puspiptek serpong