

Struktur dan Konduktivitas Ionik Kaca LiMnPO_4 sebagai Katoda pada Baterai Sekunder

S. Qomariyah, W. Widanarto*, W. T Cahyanto

Jurusan Fisika, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. dr. Soeparno 61 Purwokerto 53123, Indonesia

*Corresponding Author: wahyu.widanarto@unsoed.ac.id

Abstrak > Katoda kaca *Lithium Manganese Phosphates* (LiMnPO_4) telah dibuat melalui reaksi *solid state* dan metode *melt quenching* pada temperatur 900 °C dengan komposisi 5 Li_2CO_3 : x MnO_2 : 15 ZnO : (80-x) P_2O_5 (dimana x = 0; 1,5 dan 3 dalam % mol). Karakterisasi sifat termal katoda yang meliputi temperatur transisi kaca T_g dilakukan dengan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC). Pengaruh penambahan MnO_2 terhadap struktur dan konduktivitas ionik katoda kaca dipelajari dengan menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD) dan LCR meter. Pola difraksi XRD yang diperoleh menunjukkan bahwa struktur semua katoda adalah *amorf*. Konduktivitas ionik katoda meningkat dengan bertambahnya konsentrasi MnO_2 , namun konduktivitas cenderung menurun pada konsentrasi MnO_2 yang berlebihan. Nilai konduktivitas ionik tertinggi katoda sebesar $7,25 \times 10^{-4}$ S/cm ditunjukkan oleh katoda kaca yang mengandung 1,5% MnO_2 . Berdasarkan pengujian voltametri siklik dan *charge/discharge*, katoda kaca LiMnPO_4 sangat berpotensi untuk digunakan dalam baterai Lithium sekunder.

Kata kunci: Baterai ion Lithium, Katoda Kaca, Lithium Manganese Phosphates, Konduktivitas Ionik, Baterai Sekunder

Abstract > Glass Cathodes of Lithium Manganese Phosphates (LiMnPO_4) are prepared using the melt quenching method at temperatures of 900 °C with composition 5 Li_2CO_3 : x MnO_2 : 15 ZnO : (80-x) P_2O_5 (where x = 0, 1.5 and 3 mol %). Thermal properties of the cathodes including a glass transition temperature (T_g) are characterized using Differential Scanning Calorimetry (DSC). Influence of the MnO_2 addition on structure and ionic conductivity of cathodes are studied using X-ray Diffraction (XRD) and LCR meters, respectively. XRD diffraction patterns show that all of the cathode structures are amorphous. The ionic conductivity of the cathode increases with increasing of MnO_2 concentration, but the conductivity tends to decrease at the excessive concentration of MnO_2 . The highest ionic conductivity of the cathode is 7.25×10^{-4} S/cm, exhibited by the glass cathode containing 1.5 mol % of MnO_2 . According to cyclic voltammetry and charge/discharge tests, the LiMnPO_4 glass cathodes are very potential to be used in Secondary Lithium Battery.

Keywords: Lithium ion batteries, Glass Cathode, Lithium Manganese Phosphates, Ionic Conductivity, Secondary battery

PENDAHULUAN

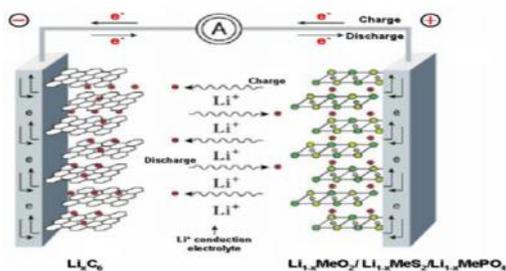
Perkembangan teknologi di bidang perangkat elektronik *portable* seperti *handphone*, tablet, kamera digital, laptop yang semakin canggih memicu permintaan penyimpanan energi listrik yang lebih maju pula. Baterai yang merupakan salah satu komponen penyimpan energi, kini terus diteliti dan dikembangkan untuk menghasilkan spesifikasi yang lebih baik. Salah satu jenis baterai yang saat ini sedang banyak dikembangkan yaitu baterai lithium. Baterai lithium terdiri dari tiga komponen utama yaitu elektrolit, anoda dan katoda. Suatu baterai ion lithium harus memiliki katoda yang dapat menahan suhu tinggi dan memiliki mobilitas ion lithium yang tinggi.

Salah satu material katoda yang saat ini mulai banyak dikembangkan, yaitu katoda tipe olivine seperti LiMnPO_4 dan LiFePO_4 . Katoda LiMnPO_4 memiliki kapasitas teoritis yang sama seperti katoda LiFePO_4 yakni sekitar 170 mAh/g. LiMnPO_4 memiliki *working-potential* yang relatif lebih tinggi yaitu mendekati 4 V (vs. Li^+/Li) bila dibandingkan dengan LiFePO_4 yang hanya berkisar 3,5 V (vs. Li^+/Li). Potensial kerja yang dimiliki LiMnPO_4 membuatnya memiliki densitas energi yang lebih tinggi dan biaya produksi yang lebih rendah daripada LiFePO_4 [1]. Katoda LiMnPO_4 juga memiliki stabilitas termal yang baik, ramah lingkungan, dan aman digunakan sebagai bahan katoda menjanjikan untuk sistem baterai masa depan. Kelemahan dari katoda ini yaitu, nilai konduktivitas elektronik dan

konduktivitas ioniknya jauh lebih rendah ($<10^{-10}$ S/cm) dibandingkan dengan LiFePO_4 ($1,8 \times 10^{-9}$ S/cm), hal tersebut menyebabkan sifat elektrokimia dan laju difusi ion lithiumnya rendah. Beberapa penelitian telah banyak dilakukan guna meningkatkan konduktivitas listrik LiMnPO_4 , diantaranya yaitu pelapisan dengan karbon, pelapisan dengan logam atau logam oksida, doping dengan ion, serta optimasi ukuran partikel dan morfologi.

Baterai lithium ion beroperasi berdasarkan pada pergerakan ion-ion lithium, sehingga material katoda pada baterai lithium harus mempunyai konduktivitas ion yang tinggi untuk dapat menghantarkan ion-ion lithium dengan cepat.

Gambar 1 menunjukkan proses charge dan discharge pada baterai lithium, selama pelucutan muatan (*discharge*) logam Li pada anoda akan teroksidasi membentuk ion-ion Li^+ dan elektron-elektron ($\text{Li} \rightarrow \text{Li}^+ + e^-$). Ion lithium yang dihasilkan bergerak dari anoda melalui elektrolit menuju ke katoda baterai, sedangkan elektron bergerak melalui suatu rangkaian listrik luar. Kebalikan dari proses tersebut adalah proses pengisian muatan (*charging*). Reaksi yang terjadi pada proses ini yaitu, terjadi reaksi oksidasi pada katoda yang menghasilkan elektron-elektron, oksigen dan ion-ion Li. Ion-ion lithium meninggalkan katoda dan berdifusi melalui elektrolit ke anoda. Bersamaan dengan perpindahan ion lithium, elektron juga ditransfer kembali ke anoda melalui suatu rangkaian luar. [2]



Gambar 1 Proses *discharge* dan *charge* pada baterai ion lithium

Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan katoda kaca LiMnPO_4 dengan proses sintesis *solid state reaction* dan metode *melt quenching* (pendinginan pada suhu ruang). Katoda LiMnPO_4

akan dibuat dalam bentuk kaca, karena kaca memiliki banyak keuntungan, yaitu dapat dibuat dengan berbagai pilihan komposisi, bersifat isotropik, tidak ada batas butir, dapat disintesis baik pada suhu rendah dan tinggi serta kontrol parameter yang mudah. [3]

METODE

Pembuatan katoda kaca dilakukan di Laboratorium Fisika Eksperimen dan Kimia Anorganik FMIPA UNSOED. Katoda kaca dibuat dengan komposisi $5\text{Li}_2\text{CO}_3 : x\text{MnO}_2 : 15\text{ZnO} : (80-x)\text{P}_2\text{O}_5$ ($x = 0; 1,5; \text{ dan } 3$ dalam % mol). Variasi perbandingan komposisi diperlihatkan pada tabel berikut :

Tabel 1 Variasi komposisi pembuatan katoda kaca LiMnPO_4

x (%)	Li_2CO_3 (%)	MnO_2 (%)	ZnO (%)	P_2O_5 (%)
0	0.05	0	0.15	0.8
1.5	0.05	0.015	0.15	0.785
3	0.05	0.03	0.15	0.77

Campuran kelima bahan tersebut diletakkan dalam cawan *crucible* dan dipanaskan pada *electrical furnace A* (sebagai furnace pertama) pada temperatur sekitar 900°C dan ditahan selama 90 menit. Lelehan kaca kemudian dituangkan di atas lempeng *steinless steel* yang sebelumnya telah dipanaskan terlebih dahulu pada *electrical furnace B* (sebagai furnace pertama) yang suhunya dijaga konstan pada 300°C . Lelehan kaca tersebut ditahan di dalam *electrical furnace* selama 3 jam, kemudian kaca diangkat dan didinginkan mengeras pada temperatur ruang.

Karakterisasi katoda kaca dilakukan di PSTBM BATAN dan P2F LIPI Serpong. Proses karakterisasi sampel katoda kaca diawali dengan membuat pellet dan serbuk dari katoda kaca yang telah terbentuk, pellet dibuat dengan diameter 13mm menggunakan *press hydrolic* dengan tekanan 1 ton. Kaca LiMnPO_4 yang telah berbentuk pellet kemudian dikarakterisasi DSC untuk mengetahui suhu transisi gelas, karakterisasi XRD untuk mengetahui struktur kristal dari masing-masing sampel katoda kaca,

dan pengujian konduktivitas ionik menggunakan LCR meter.

Proses pengujian performa elektrokimia sel baterai katoda kaca LiMnPO_4 diawali dengan pembuatan slurry. Slurry terdiri dari LiMnPO_4 sebagai material aktif, PVDF, AB (Acetylene Black) dan DMAC, dengan perbandingan 85% Material aktif (LiMnPO_4) : 15% PVDF : 5% AB. Massa DMAC dihitung dari 20 x massa PVDF. Proses selanjutnya yaitu *coating*, slurry dilapiskan di atas lembaran aluminium foil dan kemudian dikeringkan di atas *hotplate*. Lembaran yang telah kering dipotong membentuk lingkaran berdiameter 23 mm. Sel baterai disusun di dalam holder, terdiri dari lembaran katoda, separator, anoda (lithium metal) dan elektrolit (LiFP_6), proses ini berlangsung di dalam glove box yang dialiri gas Argon. Rangkaian sel baterai tersebut kemudian diuji performa elektrokimianya menggunakan *cyclic voltammetry* dan *charge/discharge*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

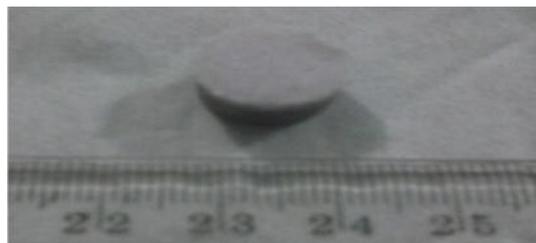
Pembuatan Sampel Kaca LiMnPO_4

Sampel katoda kaca LiMnPO_4 dibuat dengan menggunakan metode *melt quenching*. Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan katoda kaca LiMnPO_4 , yaitu Li_2CO_3 , MnO_2 , ZnO , dan P_2O_5 . Bahan Li_2CO_3 digunakan sebagai pengubah lithium yaitu untuk memperoleh Li_2O , sedangkan ZnO merupakan bahan *modifier* (pengubah kaca) yang berfungsi sebagai penstabil pada proses pembuatan kaca, P_2O_5 merupakan bahan pembentuk kaca fosfat, sedangkan MnO_2 merupakan bahan yang digunakan sebagai doping yang komposisinya divariasikan.



Gambar 3 Sampel kaca LiMnPO_4

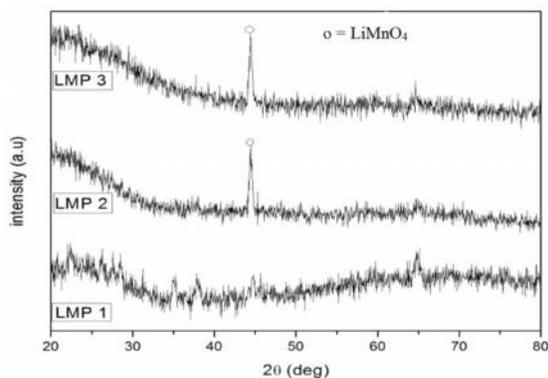
Katoda kaca yang telah terbentuk ditumbuk dengan menggunakan mortar hingga halus dan homogen. Serbuk kaca kemudian dicetak menggunakan cetakan pellet berdiameter 13 mm dan di press menggunakan *hydraulic press* pada tekanan 1 ton dan penahanan 3 menit.



Gambar 4 Sampel kaca LiMnPO_4 dalam bentuk pellet

1. Struktur Katoda Kaca LiMnPO_4

Karakterisasi struktur katoda kaca LiMnPO_4 menggunakan XRD dilakukan pada rentang 2θ antara 20° - 80° dengan panjang gelombang CuK $1,54 \text{ \AA}$. Karakterisasi XRD dilakukan untuk menunjukkan struktur kristal dari kaca LiMnPO_4 , pada umumnya kaca berstruktur amorf. Material dengan struktur amorf mempunyai susunan atom yang tidak teratur, hal ini berbeda dengan material kristalin, dimana atom-atomnya tersusun rapi. Ketidakteraturan susunan atom pada struktur amorf inilah yang diharapkan dapat memberikan ruang lebih untuk ion-ion lithium dapat bergerak bebas.



Gambar 5 Spektrum XRD Katoda Kaca LiMnPO_4

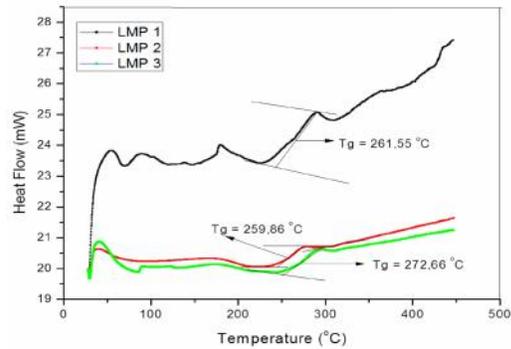
Hasil pola difraksi XRD menunjukkan ketiga sampel katoda kaca yang dihasilkan memiliki struktur amorf. Hal ini dapat dilihat bahwa pola difraksi XRD tersebut melebar dan tidak adanya puncak-puncak (peak) yang signifikan. Pola ini berbeda dengan material kristalin yang memiliki

lebih dari satu peak difraksi. Namun, ada sebuah peak yang terlihat pada sampel kedua dan ketiga yaitu pada posisi $2\theta = 44,41^\circ$. Berdasarkan data ICDD Nomor 04-017-2508 dan Nomor 00-052-1841 diketahui bahwa peak tersebut menunjukkan fase LiMnPO_4 . Munculnya peak ini kemungkinan karena pada proses pencampuran bahan tidak homogen atau masih adanya pengotor. Pembuatan katoda kaca dilakukan dengan metode *solid state*, metode ini diketahui mempunyai kekurangan yaitu sampel yang dihasilkan kurang homogen. Hal ini juga berkaitan dengan bahan yang digunakan dalam pembuatan katoda kaca, yaitu P_2O_5 yang bersifat *hygroscopic* (mudah mengikat oksigen). Bahan P_2O_5 ini mudah menggumpal ketika berinteraksi dengan udara sehingga pada saat pencampuran tidak semua bahan tercampur merata.

Pembuatan katoda khususnya untuk tipe *olivine* sebaiknya dilakukan dengan mengontrol *atmosphere*, salah satu cara yang dapat dilakukan yaitu dengan menempatkan sampel pada kondisi inert (dialiri gas Nitrogen/Argon). Dengan kontrol *atmosphere* yang tepat dapat dihasilkan sampel dengan sedikit pengotor (*impurity*) serta dapat mengurangi terjadinya reaksi-reaksi yang tidak diperlukan, seperti reaksi pengikatan terhadap oksigen. Qi Lu, dkk membuat katoda LiMnPO_4 didopping Mg dengan pemanasan pada kondisi inert untuk membuat material yang homogenya [4], penelitian terkait juga dilakukan oleh Kinamura, dkk dengan tujuan untuk meningkatkan konduktivitas material. [5]

2. Sifat Termal Katoda Kaca LiMnPO_4

Karakterisasi DSC yang dilakukan pada penelitian ini hanya untuk mengetahui nilai transisi kaca (T_g). Sampel pada karakterisasi DSC dipanaskan dari suhu 30°C sampai 450°C pada laju $10^\circ\text{C}/\text{menit}$.

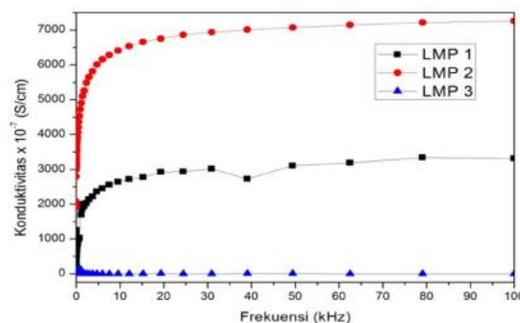


Gambar 6 Grafik DSC Katoda Kaca LiMnPO_4

Selama rentang temperatur dari 0°C sampai 500°C terjadi reaksi eksotermik atau reaksi pelepasan panas yang ditunjukkan dengan adanya kenaikan nilai temperatur dan reaksi penyerapan panas atau endotermik saat terjadi penurunan nilai perubahan temperatur (T). Temperatur transisi gelas (T_g) teramati saat ada perubahan reaksi eksotermik menuju reaksi endotermik secara tiba-tiba dari sampel kaca yang menyebabkan penurunan nilai perbedaan temperatur secara tiba-tiba pada kurva.

3. Konduktivitas Katoda Kaca LiMnPO_4

Pengukuran konduktivitas pada sampel katoda kaca dilakukan menggunakan alat LCR meter pada range frekuensi $1\text{ Hz} - 100\text{ KHz}$ dengan tegangan acuan sebesar 1 Volt.



Gambar 7 Grafik Konduktivitas Katoda Kaca LiMnPO_4

Perubahan nilai konduktivitas pada kurva menandakan adanya pergerakan ion yang terjadi pada sampel katoda kaca selama proses pengujian LCR meter. Nilai konduktivitas untuk masing-masing sampel secara jelas disajikan pada tabel berikut ini :

Tabel 3 Nilai Konduktivitas katoda kaca LiMnPO₄

Sampel	Konduktivitas min (S/cm)	Konduktivitas maks (S/cm)
LMP-1	2,73x10 ⁻⁵	3,34x10 ⁻⁴
LMP-2	1,90x10 ⁻⁴	7,25x10 ⁻⁴
LMP-3	3,77x10 ⁻⁹	1,20x10 ⁻⁵

Nilai konduktivitas katoda kaca mencapai nilai maksimum pada komposisi MnO₂ 1,5%, sedangkan pada komposisi 3% nilai konduktivitas cenderung menurun. Penambahan konsentrasi MnO₂ dapat meningkatkan nilai konduktivitas, namun ada batasan nilai tertentu dimana konduktivitas justru cenderung menurun dengan semakin bertambahnya konsentrasi MnO₂. Menurunnya nilai konduktivitas pada komposisi 3% ini disebabkan karena terlalu banyaknya konsentrasi MnO₂ dapat menghambat laju pergerakan dari ion-ion lithium. Konsentrasi MnO₂ yang tinggi dalam katoda menurunkan mobilitas ion karena adanya tumbukan saat diterapkan dengan medan listrik kecil. Ion mengalami tumbukan dan kehilangan sebagian atau seluruh energi kinetiknya. Akibatnya, kecepatannya berkurang diikuti oleh penurunan mobilitas dan konduktivitas ionik.^[3]

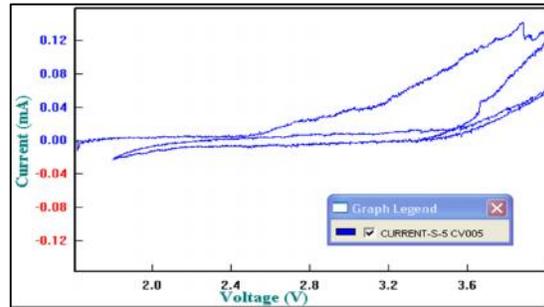
Nilai konduktivitas tertinggi yang didapat adalah sebesar 7,25x10⁻⁴ S/cm, yaitu pada sampel katoda dengan komposisi MnO₂ 1,5%. Jika kita bandingkan dengan beberapa penelitian sebelumnya terkait pembuatan katoda baterai, nilai konduktivitas yang didapat pada penelitian ini sudah lumayan besar. Seperti yang disebutkan oleh Guo bahwa konduktivitas LiMnPO₄ yaitu sekitar <10⁻¹⁰ S/cm.^[6]

4. Performa Katoda kaca LiMnPO₄ sebagai Sel Baterai

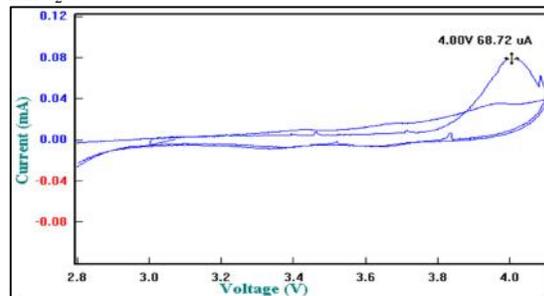
Performa kaca LiMnPO₄ sebagai katoda pada rangkaian sel baterai dapat diuji dengan menggunakan *cyclic voltametry*. Hasil dari *Cyclic voltametry* berupa voltamogram, yaitu grafik hubungan antara tegangan terhadap arus. Sel

baterai diberikan tegangan pada range tertentu, kemudian diukur besarnya arus yang terjadi.

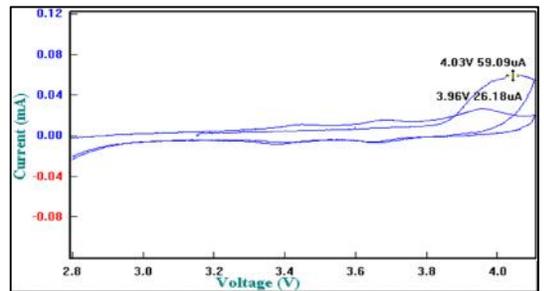
Berdasarkan voltamogram dapat diketahui adanya peak oksidasi dan peak reduksi. Sel baterai yang menunjukkan adanya peak oksidasi dan reduksi maka menyatakan bahwa material tersebut mampu mengalami proses charge dan discharge, hal ini merupakan syarat dasar sebagai baterai sekunder (*rechargeable*). Voltamogram hasil pengujian *Cyclic Voltametry* untuk sampel katoda kaca LiMnPO₄ ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 8 Voltamogram Katoda Kaca LiMnPO₄ dengan 0% MnO₂



Gambar 9 Voltamogram Katoda Kaca LiMnPO₄ dengan 1.5% MnO₂



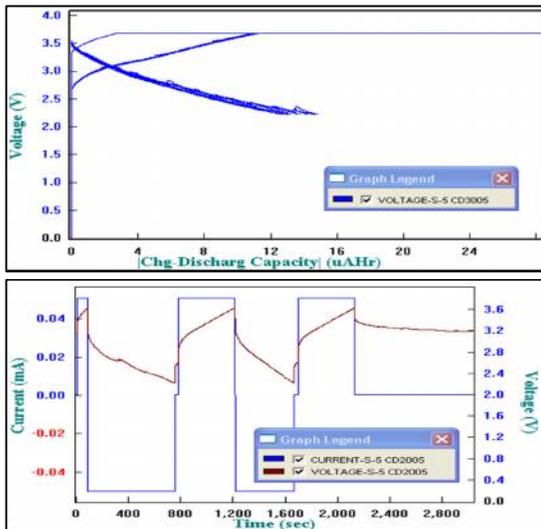
Gambar 10 Voltamogram Katoda Kaca LiMnPO₄ dengan 3% MnO₂

Berdasarkan ketiga voltamogram tersebut dapat terlihat bahwa ketiga sampel mengalami peak oksidasi. Reaksi oksidasi dapat terlihat pada grafik, yaitu dengan adanya peningkatan arus positif. Sedangkan peak reduksi dari ketiga

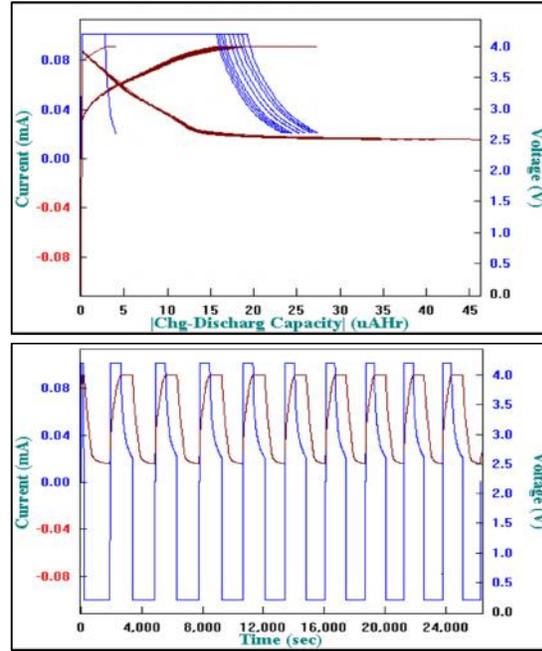
sampel tidak begitu terlihat, namun peak tersebut tetap ada hanya nilainya terlalu kecil. Adanya proses reduksi ini dapat terlihat pada grafik, yaitu ditunjukkan dengan adanya arus negatif. Peak reduksi yang rendah pada ketiga sampel menunjukkan bahwa ion Li^+ yang berpindah ke anoda selama proses *charging*, tidak semuanya kembali ke anoda ketika proses *discharging*.

Berdasarkan grafik *cyclic voltammetry* ini dapat dikatakan bahwa katoda kaca LiMnPO_4 mampu mengalami oksidasi dan reduksi, walaupun nilai peak reduksinya masih sangat kecil. Kecilnya nilai peak reduksi ini kemungkinan karena katoda kaca yang dihasilkan agak sedikit basah (mengikat oksigen). Hal ini berkaitan dengan penggunaan bahan P_2O_5 yang memang merupakan bahan higroskopis. Selain itu, pada penyusunan sel baterai, elektrolit yang digunakan adalah elektrolit cair yaitu LiPF_6 , yang dapat membuat katoda kaca LiMnPO_4 menjadi semakin basah.

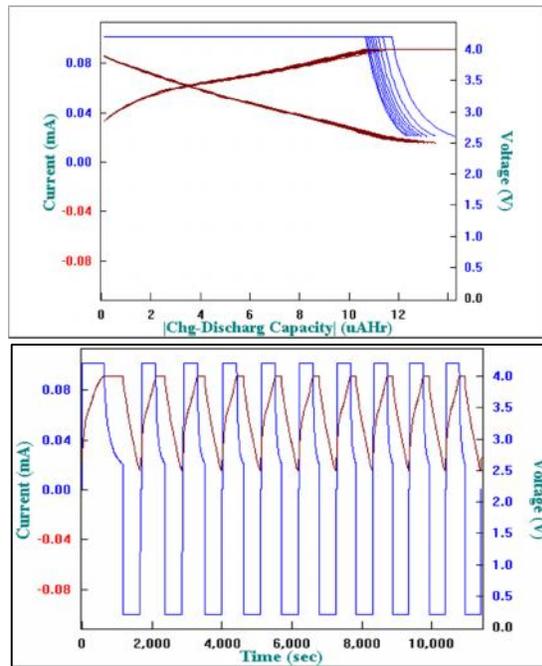
Katoda kaca LiMnPO_4 berhasil mengalami proses reduksi dan oksidasi, namun untuk lebih meyakinkan bahwa katoda mampu digunakan sebagai sel baterai sekunder perlu pengujian lebih lanjut yaitu pengujian *charge-discharge*.



Gambar 11 Grafik pengujian charge/discharge Katoda Kaca LiMnPO_4 dengan 0% MnO_2



Gambar 12 Grafik pengujian charge/discharge Katoda Kaca LiMnPO_4 dengan 1.5% MnO_2



Gambar 13 Grafik pengujian charge/discharge Katoda Kaca LiMnPO_4 dengan 3% MnO_2

Pada pengujian *charge/discharge*, diketahui bahwa semua sampel katoda kaca mengalami proses *charge* dan *discharge*, artinya katoda kaca LiMnPO_4 ini sudah memenuhi syarat awal untuk diaplikasikan sebagai baterai sekunder.

Berdasarkan grafik pengujian *charge/discharge* dapat diperoleh nilai tegangan kerja untuk sampel LMP-1 (komposisi MnO_2 0%) sebesar 2,93 V, LMP-2 (komposisi MnO_2 1,5%) sebesar 2,47 V dan LMP-3 (komposisi MnO_2 3%) sebesar 3,33 V. Waktu *charge /discharge* dari ketiga sampel juga dapat diketahui, yaitu waktu *charge* dan *discharge* untuk sampel LMP-1 adalah 8 menit dan 12 menit, untuk sampel LMP-2 adalah 31 menit dan 25 menit, sedangkan untuk sampel LMP-3 adalah 20 menit dan 18 menit .

Grafik pengujian *charge/discharge* juga dapat menunjukkan nilai kapasitas dari masing-masing sampel katoda kaca LiMnPO_4 . Sampel dengan komposisi MnO_2 0% menunjukkan nilai kapasitas sebesar 16 μAhr , sedangkan sampel selanjutnya menunjukkan nilai kapasitas 45 μAhr , dan sampel terakhir menunjukkan nilai kapasitas sebesar 13 μAhr . Katoda kaca LiMnPO_4 yang dibuat berhasil menunjukkan sifat sebagai baterai sekunder karena mampu mengalami proses *charge* dan *discharge*, namun katoda ini belum berhasil menunjukkan nilai kapasitas yang baik.

Tabel 4.1 Data nilai pengujian charge/discharge katoda kaca LiMnPO_4

Sampe l	Voc p (V)	Waktu Charg e (menit)	Waktu Discharg e (menit)	Kapasita s (μAhr)
LMP 1	2,93	8	12	16
LMP 2	2,47	31	25	45
LMP 3	3,33	20	18	13

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Katoda kaca LiMnPO_4 berhasil dibuat menggunakan metode *melt quenching* dengan persentase komposisi bahan 5 Li_2CO_3 : x MnO_2 : 15 ZnO : (80-x) P_2O_5 (dimana x = 0; 1,5; dan 3 dalam % mol).
2. Struktur Katoda kaca LiMnPO_4 bersifat *amorf* untuk semua sampel, namun ada peak pengotor pada beberapa sampel, yang diduga sebagai fase LiMnO_4 . Besarnya nilai konduktivitas optimum

pada komposisi MnO_2 1,5%. Nilai konduktivitas tertinggi adalah sebesar $7,25 \times 10^{-4}$ S/cm, yaitu pada sampel katoda dengan komposisi MnO_2 1,5%.

3. Katoda kaca LiMnPO_4 memenuhi syarat sebagai katoda dalam baterai sekunder, yang ditandai dengan adanya peak oksidasi dan peak pada pengujian *cyclic voltammetry* dan adanya proses *charge* dan *discharge*.

Saran

1. Bahan katoda kaca yang digunakan pada penelitian ini yaitu P_2O_5 merupakan bahan higroskopik, sehingga sampel yang dihasilkan agak berair. Oleh karena itu perlu ruangan ber-AC untuk menangani bahan tersebut, serta perlu tempat penyimpanan yang bebas udara, seperti desikator dsb. Hal ini dimaksudkan untuk mencegah adanya reaksi antara bahan dengan udara.
2. Sebaiknya gunakan furnace yang inert dalam pembuatan katoda kaca LiMnPO_4 , hal ini agar katoda kaca yang dihasilkan mempunyai *impurity* yang rendah, sehingga dapat dihasilkan nilai konduktivitas yang lebih tinggi.
3. Sebaiknya gunakan elektrolit padat saat pengujian performa baterai, karena aplikasi katoda kaca LiMnPO_4 adalah sebagai *solid state battery*, sehingga katoda dan elektrolit yang digunakan haruslah berbentuk padat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jian, L., Heng, Y. S., Ming, Z. H., & Jun, G. W. (2014). Preparation of $\text{LiMn}_{0,4}\text{Fe}_{0,6}\text{PO}_4/\text{C}$ Composite by A New Route Combining Solid-state Reaction with Hydrothermal Synthesis. *Journal of Inorganic Materials*, **29(4)**, 443-447.
- [2] Stark, M. A. (2011). "Synthesis of Nanosized, Electrochemically Active Lithium Transition Metal Phosphates". Disertasi Universitas Ulm, Jerman.

- [3] Widanarto, W., Sahar, M. R., Ghoshal, S. K., Mashadi, Gustiono, D., & Effendi, M. (2014). Improved Thermal Features and Ionic Conductivity of Lithium-Zinc-Tellurite Glass Electrolytes. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, **10**(4), 207-210.
- [4] Lu, Qi., Gregory, S Hutchings., Yang, Zhou., Huolin, L Xi., Haimei, Zheng., & Feng, Jiao. (2014). Nanostructured Flexible Mg-Modified LiMnPO₄ Matrix as High-rate Cathode Materials for Li-ion Batteries. *Journal Materials Chemistry A*, **02**, 6368–6373.
- [5] Kanamura, Kiyoshi., Hirokazu Munakata., & Yusuke Namiki. (2013). Phosphate Materials For Rechargeable Battery Applications. *Phosphorus Research Bulletin*, **28**, 030-036.
- [6] Guo, H., Wu, C., Liao, L., Xie, J., Zhang, S., Zhu, P. (2013). Performance Improvement of Lithium Manganese Phosphate by Controllable Morphology Tailoring with Acid-Engaged Nano Engineering. *Inorganic Chemistry*.