



Pengaruh Rasio LiBOB:TiO₂ dari Lembaran Polimer Elektrolit sebagai Pemisah terhadap Kinerja Elektrokimia Baterai Lithium-Ion Berbasis LTO

Agriccia Pangestica Saputry^{a,*}, Titik Lestariningsih^b, Yayuk Astuti^{a,c,*},

^a Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang

^b LIPI research center, Kawasan Puspittek Serpong, Tangerang Selatan

^c National Center for Sustainable Transportation Technology (NCSTT), Bandung, Indonesia

* Corresponding author: agricciaputri@gmail.com; yayuk.astuti@live.undip.ac.id

<https://doi.org/10.14710/jksa.22.4.136-142>

Article Info

Article history:

Received: 2 May 2019

Revised: 27 June 2019

Accepted: 12 July 2019

Online: 31 July 2019

Keywords:

LiBOB; LTO anode; conductivity; reversibility; charge; discharge; ion lithium battery

Kata Kunci:

LiBOB; anoda LTO-Zr; konduktivitas; reversibilitas; charge, discharge; ion baterai lithium

Abstract

Title: The Effect of Ratio LiBOB:TiO₂ of Electrolyte Polymer Sheets as separators on the Electrochemical Performance of LTO-Based Lithium-Ion Batteries

LTO anode-based Ion-Lithium batteries with artificial polymer electrolyte sheets consisting of PVdF-HFP, TiO₂, and LiBOB as well as commercial sheets and with electrolyte solutions LiTFSI and LiPF₆ have been made by assembling method. The changing variables in this study were the ratio between TiO₂ and LiBOB for separator sheets and types of electrolytes used, namely, LiTFSI and LiPF₆. Some characterizations were undertaken to determine battery performance including battery voltage determination, Cyclic Voltammetry (CV) testing to measure battery cell performance, and Electrochemical Impedance Spectrometry (EIS) analysis to measure battery conductivity values. The results showed that the presence of LiBOB and TiO₂ at the separator in the battery can improve the performance of LTO-based lithium batteries. Artificial separator sheets with a composition ratio of TiO₂: LiBOB of 5:25 with electrolyte solution LiPF₆ which produces work stress, potential difference, and ionic conductivity of 3.06 V; 0.3 V; and 1.486x10⁻⁶ Scm⁻¹ is the best possible to be applied to lithium-ion batteries.

Abstrak

Baterai litium ion berbasis anoda Li₄Ti₅O₁₂ (LTO) dengan lembaran polimer elektrolit sintesis (buatan) PVdF-HFP, TiO₂, dan LiBOB serta lembaran komersial dan dengan larutan elektrolit LiTFSI dan LiPF₆ telah dibuat dengan metode *assembling*. Variabel berubah dalam penelitian ini adalah rasio antara TiO₂ dan LiBOB serta jenis elektrolit yang digunakan yaitu LiTFSI dan LiPF₆. Beberapa karakterisasi dilakukan untuk menentukan kinerja baterai di antaranya penentuan tegangan baterai, pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV) untuk mengukur kinerja sel baterai, dan pengujian *Electrochemical Impedance Spectrometry* (EIS) untuk mengukur nilai konduktivitas baterai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya kandungan LiBOB dan TiO₂ pada separator dalam baterai dapat meningkatkan kinerja baterai litium ion berbasis LTO. Lembaran separator buatan dengan rasio komposisi TiO₂:LiBOB sebesar 5:25 dengan larutan elektrolit LiPF₆ yang menghasilkan tegangan kerja, beda potensial, dan konduktivitas ionik berturut-turut sebesar 3,06 V; 0,3 V; dan 1,486x10⁻⁶ Scm⁻¹ adalah yang dimungkinkan paling baik untuk diaplikasikan pada baterai litium ion.

1. Pendahuluan

Baterai didefinisikan sebagai suatu alat penyimpan energi yang berupa sel elektrokimia yang dapat mengubah langsung energi kimia menjadi energi listrik [1]. Saat ini, penggunaan baterai sebagai penyimpan energi listrik pada berbagai peralatan elektronik seperti telepon genggam, laptop dan *gadget* lainnya semakin meningkat. Dalam kegunaannya, baterai harus mampu bekerja secara efisien, bahan bakunya mudah diperoleh, ekonomis, ramah lingkungan dan berkapasitas tinggi. Salah satu jenis baterai yang efisien adalah baterai sekunder seperti baterai litium ion. Baterai sekunder merupakan jenis baterai di mana terjadi reaksi kimia secara reversible. Pada saat baterai digunakan dengan menghubungkan beban pada terminal baterai (*discharge*), elektron akan mengalir dari negatif ke positif. Sedangkan pada saat sumber energi luar dihubungkan ke baterai sekunder, elektron akan mengalir dari positif ke negatif sehingga terjadi pengisian muatan pada baterai. Kelebihan baterai litium ion adalah memiliki *lifecycle* panjang (500-1000 siklus), beda potensial, densitas energi, dan kapasitas spesifik lebih tinggi dibandingkan dengan baterai sekunder yang lain [1]. Komponen sel baterai terdiri dari elektroda (anoda dan katoda), elektrolit, *separator*, wadah dan terminal/ *current collector*. Salah satu anoda yang berpotensi digunakan adalah $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (Lithium-Titanium Oxide, LTO). Baterai berbasis $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (LTO) memberikan keuntungan dalam stabilitas kimia, dapat diisi ulang dengan cepat dan dikosongkan dengan lambat, memiliki luas rentang suhu operasi dan efisiensi mengisi ulang melebihi 98% serta memberikan siklus hidup lebih lama. Anoda LTO dapat dipasangkan dengan lithium metal yang berperan sebagai katoda. Pada proses *charging* (oksidasi) terjadi proses deinterkalasi dari katoda Li-logam ke anoda LTO dan pada proses *discharging* (reduksi) terjadi proses interkalasi dari anoda LTO ke katoda Li-metal. Interkalasi merupakan proses pelepasan ion lithium dari tempatnya di struktur kristal suatu bahan elektroda dan pemasukan ion lithium pada tempat di struktur kristal bahan elektroda yang lain [2].

Sel baterai memerlukan sejumlah garam aditif sebagai elektrolit untuk meningkatkan kinerja baterai. Kebanyakan LiPF_6 adalah garam yang paling umum digunakan [3]. Garam elektrolit lain yang berpotensi sebagai elektrolit dalam sel baterai adalah LiTFSI karena sensitivitasnya yang lebih rendah terhadap hidrolisis dan peningkatan stabilitas termal dan elektrokimia [4]. Pada penelitian ini akan dibandingkan antara garam LiPF_6 dengan garam LiTFSI sebagai suatu elektrolit. Selain itu, saat ini lembaran *separator* yang digunakan dapat berupa *separator* komersial atau *separator* hasil sintesis, *separator* komersial memiliki keunggulan yakni pada sifat mekanik yang baik, serta pada stabilitas elektrokimia. Namun, *separator* komersial memiliki kelemahan dalam hal konduktivitas ion rendah, kompatibilitas rendah, dan rasio penyusutan *separator* tinggi terutama pada suhu

tinggi [5]. Oleh karena itu, perlu dikembangkan lembaran *separator* hasil sintesis yang menghasilkan konduktivitas ion tinggi sehingga meningkatkan kinerja baterai. *Polyvinylidene difluorida-hexafluoropropylene* (PVDF-HFP) adalah bahan polimerisasi yang berpotensi dijadikan lembaran *separator* karena stabil secara kimiawi di bawah kondisi penyimpanan dan penanganan yang normal, ketahanan panas, dan konduktivitas ion yang tinggi [5]. Pada penelitian sebelumnya [6] dihasilkan *separator* PVdF-CA/ $\text{Al}(\text{OH})_3$ dengan serapan elektrolit tinggi (403,9%), unggul pada ketahanan termal dan konduktivitas ion baik ($2,85 \text{ mS cm}^{-1}$) [5]. Dalam polimer, HFP berperan mengurangi kristalinitas, menambah daya larut dan menurunkan suhu leleh [7]. Untuk meningkatkan kinerja lembaran *separator*, diperlukan suatu aditif seperti Lithium Bis (Oksalato) Borat atau LiBOB ($\text{LiB}(\text{C}_2\text{O}_4)_2$) yang merupakan agen konduktif yang memiliki keunggulan yakni stabilitas panas cukup tinggi [8] dan suatu *filler* seperti TiO_2 untuk mengurangi fraksi kristalin dari elektrolit dalam komposit polimer [9] serta meningkatkan konduktivitas ionik dan transfer ion [7].

Dalam penelitian ini, dilakukan analisis terhadap baterai Li-ion berbasis LTO dengan variasi rasio komposisi filler TiO_2 :LiBOB dan variasi larutan elektrolit berupa analisis elektrokimia *Cyclic Voltammetry* (CV) dan *Electrochemical Impedance Spectrometry* (EIS).

2. Metodologi Penelitian

2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain pinset, gunting, penggaris bulat, cawan petri, *glove box*, instrumen EIS (HIOKI 3532-50), instrumen CV (*Automatic Battery Cycler* (WBCS 3000)), Multimeter Digital, *Hydrolic Crimping Machine*, Neraca digital, oven, dan Mikrometer Sekrup Digital, sedangkan bahan yang digunakan antara lain membran *separator*, *cap* (tutup atas), *can* (tutup bawah), *wave spring/ spaser*, *steel plate*, anoda LTO ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$), logam Li (Li-metal), elektrolit LiTFSI, elektrolit LiPF_6 , dan aseton.

2.2. Pembuatan Membran separator

Membran *separator* yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 2 tipe *separator*, yaitu *separator* buatan dan *separator* komersial. *Separator* buatan yang digunakan terdiri dari campuran PVdF, TiO_2 , dan LiBOB dengan kadar PVdF sebesar 70% dan kadar (TiO_2 + LiBOB) sebesar 30%. Membran *separator* terdiri dari 5 variasi, yaitu membran *separator* dengan variasi perbandingan rasio antara TiO_2 dan LiBOB sebesar 0:30, 2:28, 5:25 dan 8:22 serta membran *separator* komersial. Membran *separator* komersial yang digunakan merupakan *separator* jenis PVdF-HFP.

2.3. Proses Assembling Baterai Litium Ion Berbasis LTO

Lembaran anoda LTO dipotong berbentuk lingkaran dengan ukuran diameter 16 mm, sedangkan membran *separator* dipotong berbentuk lingkaran dengan ukuran

diameter 19 mm. Bahan anoda LTO ditimbang dengan menggunakan neraca digital. Berat bahan anoda diperoleh dengan melakukan penimbangan pada lembaran anoda dengan bahan elektrodanya, dan penimbangan lembaran anoda tanpa bahan elektroda. Lalu berat lembaran anoda dengan bahan dikurangi dengan berat lembaran anoda tanpa bahan, sehingga diperoleh berat bahan anodanya. Sedangkan ketebalan *separator* diukur dengan menggunakan alat Mikrometer Sekrup Digital. *Casing* baterai litium ion yang terdiri dari cap (tutup atas), *can* (tutup bawah), *wave spring/spaser*, dan *steel plate* dicuci dengan larutan aseton. Kemudian *casing* baterai dikeringkan di atas tissue untuk selanjutnya dipanaskan dalam oven selama ±15 menit pada suhu sekitar 50°C.

Proses assembling baterai dilakukan di dalam *glove box*. *Glove box* berada pada kondisi tekanan -0,01 mbar dengan gas inert Argon. Dilakukan *evacuate* selama 1 menit dan *refill* selama 1 menit secara bergantian sebanyak 5 kali pada *glove box*. Baterai litium ion berbasis LTO dibuat dengan menyusun komponen baterai dengan urutan dari bawah yaitu mulai dari tutup bawah (*can*), lalu lembaran anodanya (LTO), lalu membran *separator*, lalu logam Li (Li-metal) berukuran 1x1 cm² yang diberikan di dalam *glove box*, lalu tambahkan larutan elektrolit. Larutan elektrolit yang digunakan terdiri dari 2 variasi, yaitu larutan elektrolit LiTFSi dan LiPF₆, di mana LiTFSi sebanyak 1 tetes dan LiPF₆ sebanyak 3 tetes. Kemudian tutup dengan *steel plate*, *spaser/wave spring*, dan tutup atasnya (*cap*). Proses crimping dilakukan pada tekanan 1000 psi (kg/cm²). Kemudian dilakukan pengukuran tegangan baterai dengan menggunakan alat Multimeter Digital. Lalu baterai litium ion dikeluarkan dari *glove box* untuk selanjutnya dikarakterisasi.

2.4. Karakterisasi Baterai Litium-ion berbasis LTO

Karakterisasi yang dilakukan yaitu pengujian CV dan EIS. Pengujian CV menggunakan Instrumen CV (*Automatic Battery Cycler* (WBCS 3000)) untuk mengetahui pola reaksi oksidasi dan reduksi dari baterai litium ion serta menentukan nilai arus dan tegangan saat terjadi proses oksidasi dan reduksi pada baterai litium ion. Sedangkan pengujian EIS menggunakan Instrumen EIS (HIOKI 3532-50) untuk mempelajari sifat elektrik (konduktif) dari sistem elektroda-elektrolit.

3. Hasil dan Pembahasan

Sampel dalam penelitian ini terdiri dari 8 sampel yaitu sampel A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, dan A8 (Tabel 1) dengan 5 variasi membran *separator* dan 2 variasi larutan elektrolit.

Tabel 1. Sampel baterai Litium-ion berbasis LTO

Sampel	Komposisi Membran <i>separator</i>			Elektrolit	Tebal <i>separator</i> (μ)
	PVdF HFP	Filler TiO ₂	Garam LiBOB		
	% berat	% berat	% berat		
A1	70%	0%	30%	LiTFSI	70
A2	70%	2%	28%	LiTFSI	70
A3	70%	5%	25%	LiTFSI	80
A4	70%	8%	22%	LiTFSI	80
A5	70%	0%	30%	LiPF ₆	90
A6	70%	2%	28%	LiPF ₆	70
A7	70%	5%	25%	LiPF ₆	60
A8	Separator komersial			LiTFSI	20

3.1. Pengukuran Tegangan Baterai

Hasil pengukuran tegangan baterai oleh alat Multimeter Digital ditunjukkan pada Tabel 2. Tegangan teoritis untuk anoda LTO dengan katoda logam Li adalah sebesar 1,55 V [10].

Tabel 2. Hasil pengukuran tegangan baterai litium-ion pada berbagai variasi membran *separator*

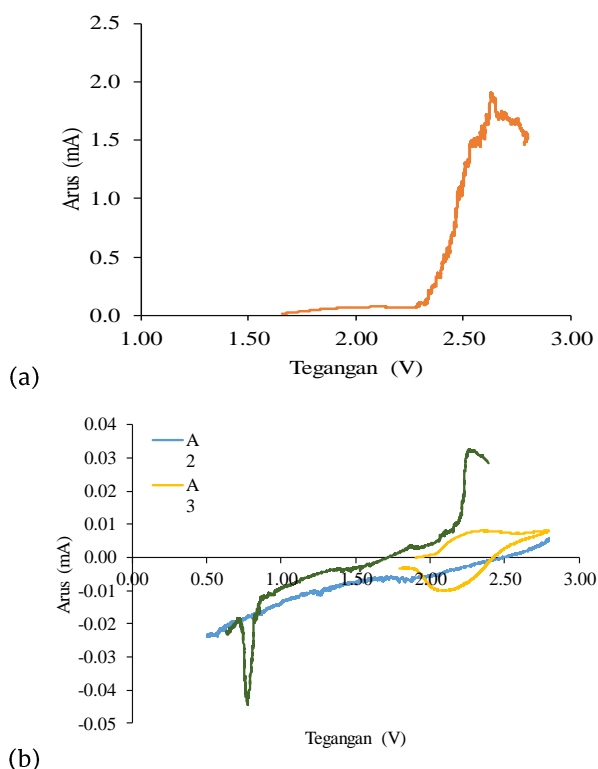
Sampel	Tegangan (V)
A1	3,01
A2	3,03
A3	3,33
A4	3,37
A5	2,80
A6	1,80
A7	3,06
A8	1,90

Pada sampel A6 dan A8 menghasilkan tegangan yang sesuai dengan tegangan teoritisnya. Sedangkan pada sampel A1, A2, A3, A4, A5, dan A7 menghasilkan tegangan yang tidak sesuai dengan tegangan teoritisnya. Hal ini mungkin dikarenakan tebal *separator* yang digunakan pada sampel-sampel tersebut yang tidak setara sehingga tegangannya tidak sesuai [11]. Ketebalan *separator* mempengaruhi mobilitas (pergerakan) ion di dalam baterai litium ion karena dimungkinkan bahan aktif yang terkandung dalam lembaran dengan ketebalan tertentu saja yang masih dapat terbasahi elektrolit sehingga terjadi proses elektrokimia [11]. Ketebalan yang lebih besar menyebabkan banyak bahan aktif yang tidak berbatasan langsung dengan cairan elektrolit sehingga menurunkan intensitas proses elektrokimia dan kapasitas baterai. Ketebalan yang terlalu kecil juga dapat membuka peluang terlepasnya kontak saat proses *charge-discharge* sehingga menurunkan kinerja baterai dan tegangan yang dihasilkan tidak sesuai [11].

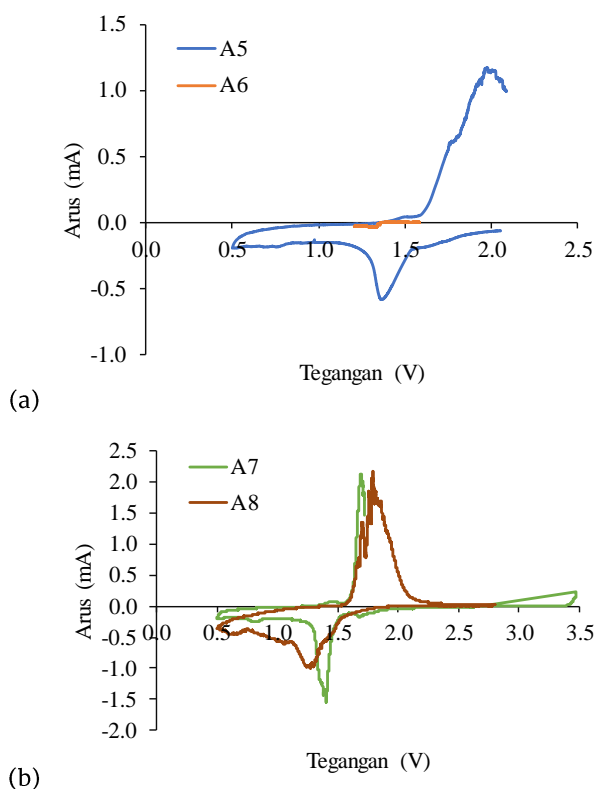
3.2. Pengukuran Kinerja Sel Baterai dengan *Cyclic Voltammetry* (CV)

Prinsip dasar dari voltametri adalah pengukuran arus sebagai fungsi dari potensial yang diterapkan ketika

terjadi polarisasi elektroda sehingga sampel baterai mengalami reaksi oksidasi-reduksi. Hasil uji CV menunjukkan hubungan antara potensial yang diberikan dan arus yang terukur, yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Kurva CV baterai litium-ion sampel A1 (a) dan A2, A3, A4 (b) dengan anoda LTO dan elektrolit LiTFSI



Gambar 2. Kurva CV baterai litium-ion sampel A5 dan A6 (a) serta A7 dan A8 (b)

Hasil uji CV menunjukkan hubungan antara potensial yang diberikan dan arus yang terukur, yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2. Pada hasil CV didapatkan proses *charging* (oksidasi) dan *discharging* (reduksi) dari baterai litium-ion berbasis LTO. Pada sampel A1 diperoleh pola oksidasi, namun tidak diperoleh pola reduksi, sedangkan pada sampel A2 dan A6 diperoleh pola reduksi, namun tidak ditemukan pola oksidasi, dan pada sampel A3, A4, A5, A7, dan A8 ditemukan pola oksidasi dan pola reduksi. Tidak ditemukannya pola reduksi pada sampel A1 dan pola oksidasi pada sampel A2 dan A6 kemungkinan dikarenakan sampel baterai telah mengalami *short current* (konslet) dan sifat penghantar dari komposit polimer LiBOB yang kurang baik dikarenakan tebal *separator* yang tidak setara juga dapat menjadi penyebab pola oksidasi dan reduksi yang kurang baik, karena *separator* ini berada di antara katoda dan anoda di mana proses *charging* (oksidasi) dari katoda logam Li ke anoda LTO dan proses *discharging* (reduksi) dari anoda LTO ke katoda Li-metal menjadi kurang baik juga [11]. Ketebalan yang lebih besar menyebabkan banyak bahan aktif yang tidak berbatasan langsung dengan cairan elektrolit sehingga menurunkan intensitas proses elektrokimia dan kapasitas baterai [11]. Selain itu, ketebalan yang terlalu kecil juga dapat membuka peluang terlepasnya kontak saat proses *charge-discharge* yang menghasilkan panas pada tempat-tempat tertentu sehingga baterai mengalami *short current* dan menurunkan kinerja baterai [11].

Adanya kandungan TiO₂ pada *separator* meningkatkan proses transfer ion saat interkalasi dan deinterkalasi. Migrasi ion dihasilkan oleh TiO₂ dengan konstanta dielektrik tinggi yang berasal dari sifat dipol yang melekat. Berkaitan dengan peran ini, TiO₂ dapat mengurangi agregasi ion dalam medium elektrolit yang berasal dari bahan dielektrik dan interaksi kimia antara TiO₂ dan PVdF-HFP sehingga meningkatkan proses transfer ion pada baterai [7]. Besar arus dan tegangan saat terjadi proses oksidasi dan reduksi dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Nilai Arus dan Tegangan dari sampel A1, A2, A3, dan A4 berdasarkan hasil CV

Sampel	Arus (mA)		Tegangan (V)		ΔV
	Oksidasi	Reduksi	Oksidasi	Reduksi	
A1	1,91	-	2,63	-	2,63
A2	-	-0,0071	-	1,87	1,87
A3	0,00816	-0,0099	2,38	2,08	0,3
A4	0,0326	-0,0045	2,26	0,772	1,488

Secara teoritis, semakin kecil nilai ΔV maka reversibilitas ionnya akan semakin baik sehingga dari hasil di atas, didapatkan bahwa sampel A3 dengan komposisi TiO₂ dalam *separator* sebesar 5% (wt) memiliki reversibilitas ion yang paling baik dibanding sampel A1 (TiO₂ 0%), sampel A2 (TiO₂ 2%), dan sampel A4 (TiO₂ 8%), karena memiliki ΔV terkecil sebesar 0,3 dibanding

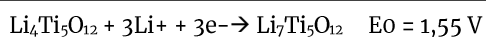
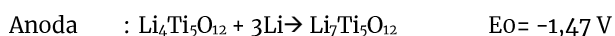
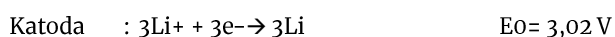
2,63 (sampel A1), 1,87 (sampel A2), dan 1,488 (sampel A4).

Tabel 4. Nilai Arus dan Tegangan dari sampel A5, A6, A7, dan A8 berdasarkan hasil CV

Sampel	Arus (mA)		Tegangan (V)		ΔV
	Oksidasi	Reduksi	Oksidasi	Reduksi	
A5	1,17	-0,59	1,98	1,36	0,62
A6	-	-0,04	-	1,33	1,33
A7	2,14	-1,54	1,70	1,40	0,30
A8	2,16	-0,99	1,79	1,27	0,52

Hasil arus dan tegangan di atas menunjukkan bahwa sampel A7 dengan komposisi TiO₂ dalam separator sebesar 5% (wt) memiliki reversibilitas ion yang paling baik dibanding sampel A5 (TiO₂ 0%), sampel A6 (TiO₂ 2%), dan sampel A8 (Separator komersial), karena memiliki ΔV terkecil sebesar 0,3 dibanding 0,62 (sampel A5); 1,33 (sampel A6); dan 0,52 (sampel A8).

Reaksi redoks yang terjadi antara katoda logam Li dengan anoda Li₄Ti₅O₁₂ adalah sebagai berikut:

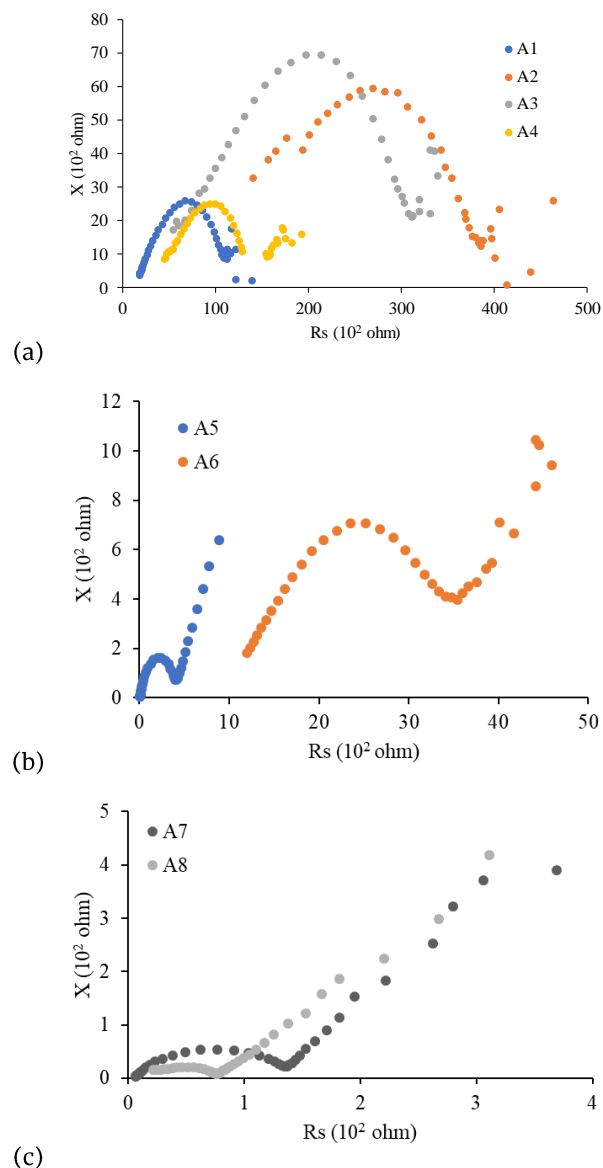


Berdasarkan reaksi tersebut, terlihat bahwa logam Li mengalami reaksi reduksi sedangkan anoda LTO mengalami reaksi oksidasi. Dalam kondisi pemakaian (*discharge*) dan pengisian (*charge*) baterai lithium bekerja menurut fenomena interkalasi dan deinterkalasi, di mana ion lithium melakukan migrasi dari katoda lewat elektrolit keanoda atau sebaliknya tanpa terjadi perubahan struktur kristal dari bahan katoda dan anoda [2]. Interkalasi merupakan proses pelepasan ion lithium dari tempatnya di struktur kristal suatu bahan elektroda dan pemasukan ion lithium pada tempat di struktur kristal bahan elektroda yang lain [2].

Pada proses pemakaian terjadi perubahan energi kimia menjadi energi listrik di mana elektron dari anoda mengalir ke katoda melalui kabel konektor sedangkan lithium yang berada pada sistem (di dalam baterai) lepas dari anoda karena kekurangan elektron untuk berpindah menuju katoda melalui elektrolit. Pada proses pengisian terjadi perubahan energi listrik menjadi energi kimia di mana elektron dari katoda mengalir menuju anoda sedangkan ion lithium dalam sistem berpindah dari katoda menuju anoda melalui elektrolit. *Separator* yang terletak di antara anoda dan katoda berfungsi untuk mencegah agar tidak terjadi hubungan singkat dan kontak antara katoda dan anoda. Pada potensial 1,55 V 3 buah ion Li⁺ dapat terinterkalasi ke dalam struktur spinel LTO sehingga spinel Li₄Ti₅O₁₂ menerima 3 mol atom Li untuk membentuk Li₇Ti₅O₁₂ pada saat proses *charge*.

3.3. Pengukuran Konduktivitas Baterai menggunakan Electrochemical Impedance Spectrometry (EIS)

Uji EIS menunjukkan sifat elektrik (konduktif) dari sistem elektroda-elektrolit suatu baterai. Dari hasil uji yang telah dilakukan, didapatkan grafik di mana sumbu x merupakan Rs (ohm) dan sumbu y merupakan X (ohm). Dari grafik tersebut dapat diketahui nilai Rbahan dan Rion sehingga dapat ditentukan resistivitas bahan masing-masing baterai litium-ion dan konduktivitas ditentukan melalui hambatan jenis bahan yang diperoleh dari resistivitas bahan. Hasil uji EIS dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil EIS baterai litium-ion sampel A1, A2, A3, dan A4 (a); A5 dan A6 (b); A7 dan A8 (c) dengan anoda LTO dan elektrolit LiTFSI

Sampel A1, A3, A5, A6, A7, dan A8 menghasilkan grafik yang cukup baik, sedangkan sampel A2 dan A4 menghasilkan grafik yang kurang baik, karena pada sampel A2 terbentuk grafik yang kurang halus dan pada sampel A4 terbentuk grafik yang tidak kontinu. Hal ini dapat dikarenakan kurang rapatnya susunan komponen-

komponen dalam baterai litium-ion, sehingga masih terdapat rongga yang menyebabkan anoda dan lembaran *separator* dapat bergeser atau bergoyang sehingga kinerja baterai kurang optimal dan grafik yang dihasilkan kurang baik. Nilai konduktivitas yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Konduktivitas Baterai Litium-ion pada berbagai sampel

Sampel	$R_{bahan} (\text{ohm}) \times 10^3$	$R_{ion} (\text{ohm}) \times 10^6$	$R (\text{ohm}) \times 10^3$	$t (\text{cm}) \times 10^{-3}$	$A (\text{cm}^2)$	$\rho (\text{ohm.cm}) \times 10^6$	$\sigma (\text{S.cm}^{-1}) \times 10^{-6}$
A1	1,84	1,09	9,06	7	3,14	4,064	0,246
A2	14,9	4,01	25,2	7	3,14	11,304	0,0885
A3	5,49	3,32	27,71	8	3,14	10,876	0,092
A4	4,49	1,56	11,11	8	3,14	4,361	0,229
A5	8,84	411	4,0216	9	3,14	1,403	0,713
A6	1200	3540	23,4	7	3,14	10,4966	0,095
A7	6,35	135	1,2865	6	3,14	0,673	1,486
A8	21,6	76,5	0,549	2	3,14	0,862	1,16

Menurut teoritis, nilai konduktivitas berbanding terbalik dengan nilai impedansi. Semakin besar nilai konduktivitas, maka semakin kecil nilai impedansinya dan sifat kapasitifnya semakin baik [12]. Hal ini disebabkan karena adanya hambatan yang diberikan pada setiap sampel, semakin besar hambatan yang diberikan maka nilai konduktivitasnya akan semakin kecil dan sebaliknya semakin kecil hambatan yang diberikan maka nilai konduktivitasnya semakin besar [13]. Dari data di atas ditemukan nilai konduktivitas terbesar adalah pada sampel A7. Namun jika dikaitkan dengan kandungan TiO_2 pada keempat sampel tersebut, hasil yang diperoleh tidak sesuai dengan literatur yang ada. Seharusnya semakin banyak kandungan TiO_2 dalam lembaran *separator* pada baterai, maka nilai konduktivitasnya semakin meningkat. Hal ini dikarenakan struktur TiO_2 yang berupa kanal-kanal. Dengan adanya kanal-kanal maka ion lithium akan lebih mudah bergerak sehingga kerapatan muatan dan mobilitas ion lithium semakin tinggi, hal ini menyebabkan nilai konduktivitasnya juga semakin tinggi [14].

Namun dalam penelitian ini, sampel yang didapatkan dengan nilai konduktivitas terbesar adalah sampel A7, bukan sampel A4. Padahal, kandungan TiO_2 dalam sampel A4 lebih besar dari kandungan TiO_2 dalam sampel A7. Hasil yang tidak sesuai dengan literatur ini kemungkinan dikarenakan tidak cocoknya antara anoda LTO dengan lembaran *separator* dan larutan elektrolit yang digunakan, serta dapat juga karena kurang rapatnya susunan komponen-komponen dalam baterai litium-ion, sehingga masih terdapat rongga yang menyebabkan anoda dan lembaran *separator* dapat bergeser atau bergoyang sehingga kinerja baterai kurang baik.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa berdasarkan uji CV dan EIS, sampel baterai litium-ion A7

merupakan sampel baterai yang memiliki reversibilitas dan sifat kapasitif yang paling baik, sehingga sampel A7 yang menggunakan lembaran *separator* dengan TiO_2 sebesar 5% adalah yang paling mungkin untuk diaplikasikan ke dalam baterai dengan larutan elektrolit LiPF_6 .

4. Kesimpulan

Adanya kandungan LiBOB dan TiO_2 pada *separator* dalam baterai dapat meningkatkan kinerja baterai litium ion berbasis LTO. Lembaran *separator* buatan dengan rasio komposisi TiO_2 :LiBOB sebesar 5:25 dengan larutan elektrolit LiPF_6 yang menghasilkan tegangan kerja, beda potensial, dan konduktivitas ionik berturut-turut sebesar 3,06 V; 0,3 V; dan $1,486 \times 10^{-6} \text{ Scm}^{-1}$ adalah yang dimungkinkan paling baik untuk diaplikasikan pada baterai litium ion.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Baterai Pusat Penelitian Fisika (P2F)-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan. Jurnal ini didanai sebagian oleh USAID melalui program Sustainable Higher Education Research Alliances (SHERA).

Daftar Pustaka

- [1] Nadia Alifia Hadiyati, Eka Maulana, Onny Setyawati, Pemodelan dan Analisis Baterai Lithium Ion 3, 2V LiFePO_4 Single Cells, Jurnal Mahasiswa TEUB, 5, 6, (2018)
- [2] Oetomo, Levin Halim, Perancangan dan implementasi sistem *charging* & monitoring baterai lithium, in, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, 2017.
- [3] Indra Gunawan, Wahyudianingsih, Sudaryanto, Studi Electrochemical Impedance Spectroscopy dari Lembaran Polyvinyl Alcohol dengan Penambahan LiClO_4 sebagai Bahan Elektrolit Baterai Li-ion, Jusamil Indonesian Journal of Materials Science, 18, 1, (2018) 9-14
<http://dx.doi.org/10.17146/jsmi.2016.18.1.4173>
- [4] Varvara Sharova, Arianna Moretti, Thomas Diemant, Alberto Varzi, R. Jürgen Behm, Stefano Passerini, Comparative study of imide-based Li salts as electrolyte additives for Li-ion batteries, Journal of Power Sources, 375, (2018) 43-52
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.11.045>
- [5] Yuniar Isna Susanto, Zainul Arifin Imam Supardi, Pengaruh Penambahan Cellulosa Acetat pada Komposit Polyvinilidene Fluoride-Selulosa Asetat Doping $\text{Al}(\text{OH})_3$ sebagai *separator* Baterai Lithium-Ion, Inovasi Fisika Indonesia, 8, 1, (2019)
- [6] Jinqiang Cui, Jiuqing Liu, Chunfeng He, Jie Li, Xiufeng Wu, Composite of polyvinylidene fluoride-cellulose acetate with $\text{Al}(\text{OH})_3$ as a *separator* for high-performance lithium ion battery, Journal of Membrane Science, 541, (2017) 661-667
<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2017.07.048>

- [7] Titik Lestariningsih, Qolby Sabrina, Nurhalis Majid, Penambahan TiO_2 dalam Pembuatan Lembaran Polimer Elektrolit Berpengaruh terhadap Konduktivitas dan Kinerja Baterai Lithium, *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 1, 1, (2017) 31-37
- [8] Etty Marti Wigayati, Titik Lestariningsih, Achmad Subhan, Christin Rina Ratri, Ibrahim Purawardi, Synthesis and characterization of LiBOB as electrolyte for lithium-ion battery, *Ionics*, 22, 1, (2016) 43-50
<https://doi.org/10.1007/s11581-015-1531-y>
- [9] Nur Shofiana Khoironi, Optimasi Nilai Konduktivitas Ionik Elektrolit Polimer Padat Kitosan-ZrO₂ dengan Penambahan LiClO_4 , Program Studi Fisika, Universitas Mataram, Mataram
- [10] Slamet Priyono, Mia Aulia Dhika, Kerista Sebayang, Achmad Subhan, Bambang Prihandoko, Pembuatan Anoda $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ dan Studi Pengaruh Ketebalan Elektroda Terhadap Performa Elektrokimia Baterai Ion Lithium, *Jusami | Indonesian Journal of Materials Science*, 17, 4, (2018) 146-152
<http://dx.doi.org/10.17146/jsmi.2016.17.4.4175>
- [11] Joko Triwibowo, Titik Lestariningsih Slamet Priyono, R Ibrahim Purawardi, Leni Daulay, Studi Pengaruh Ketebalan Lembar Kathoda LiFePO_4 Pada Performa Baterai Sekunder Ion Lithium, *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 5, 02, (2015) 1-7
<https://doi.org/10.24198/jmei.v5i02.11158>
- [12] Rizka Rahmatie Agusta Putri, Chomsin Sulistya, Didik R Santoso, Analisis Nilai Impedansi Listrik pada Daging Ikan Nila yang Disimpan dalam Lemari Es, *Indonesian Journal of Applied Physics*, 6, 02, (2017) 117-124
<https://doi.org/10.13057/ijap.v6i02.1780>
- [13] Bowo Eko Cahyono, Misto Misto, Holili Nur Arivah, Analisa Kualitas Semen Melalui Pengukuran Konstanta Dielektrik dan Resistivitas, REM (Rekayasa Energi Manufaktur) *Jurnal*, 2, 2, (2018) 57-61
<https://doi.org/10.21070/r.e.m.v2i2.1199>
- [14] Era Sukma Jelita Sari, Rahadian Zainul, Nitrogen Triflorida (NF_3): Termodinamika dan Transpor Elektron NF_3 , *INA-Rxiv*, (2019)
<https://doi.org/10.31227/osf.io/3nzh>