



KONTRIBUSI ADITIF SUCCINONITRILE (SN) PADA PERFORMA ELEKTROLIT PADAT LiBOB UNTUK BATERAI Li-ION

Titik Lestariningsih^{a,*}, Qolby Sabrina^a, Christin Rina Ratri^a, Latifa Hanum Lalasari^b

^aPusat Penelitian Fisika - LIPI

Gedung 44-442, Kawasan Puspiptek Serpong, Indonesia 15310

^bPusat Penelitian Metalurgi dan Material - LIPI

Gedung 470, Kawasan Puspiptek Serpong, Indonesia 15310

*E-mail: lestariningsih25.tl@gmail.com

Masuk tanggal : 13-07-2020, revisi tanggal : 28-07-2020, diterima untuk diterbitkan tanggal 11-10-2020

Abstrak

Pengembangan elektrolit polimer padat untuk substitusi elektrolit cair bertujuan untuk mengurangi kebocoran pada sistem baterai. Performa elektrolit polimer padat masih terus ditingkatkan agar memiliki konduktifitas ionik sebanding dengan performa elektrolit cair. Salah satu upaya peningkatan performa elektrolit polimer padat dengan menambahkan SN (*succinonitrile*). SN merupakan matriks serbaguna untuk menghantarkan Li-ion dalam elektrolit padat, tingginya polaritas SN diharapkan dapat membantu pemisahan ion lithium yang berasal dari garam elektrolit LiBOB. Peningkatan mobilitas ion akan menghasilkan konduktifitas ion yang tinggi. Penambahan jumlah SN dalam pembuatan elektrolit padat dibuat bervariasi dengan metode *mixing slurry* dan *solution casting*. Hasil karakterisasi FE-SEM (*field emission-scanning electron microscopy*) dan XRD (*x-ray diffraction*) dengan penambahan SN 32% memperlihatkan adanya lubang pori dan mempunyai bentuk struktur amorf, hal ini akan memudahkan ion lithium untuk berpindah secara merata. Hasil pengujian TGA/DSC (*thermogravimetric analysis/differential scanning calorimetry*) menunjukkan elektrolit polimer padat akan mengalami kestabilan sampai pada temperatur 117 °C dengan kehilangan berat sebesar 25,1% dan nilai derajat kristalinitas adalah paling kecil. Penambahan SN 32% menunjukkan jendela tegangan stabilitas elektrokimia 2,2 volt cukup lebar dari hasil karakterisasi linier sweep voltammetry. Pengukuran konduktifitas ionik dilakukan menggunakan EIS (*electrochemical impedance spectroscopy*), hasilnya memperlihatkan nilai konduktifitas elektrolit polimer padat dengan penambahan SN 32% sebesar $6,711 \times 10^{-8}$ S/cm, masih lebih kecil bila dibandingkan dengan kisaran nilai konduktifitas elektrolit cair. Optimasi jumlah penambahan SN pada elektrolit padat masih harus dilakukan untuk mencapai performa baterai yang lebih baik.

Kata Kunci: Elektrolit polimer padat, *succinonitrile*, LiBOB, baterai Li-ion

Abstract

The goal of developing solid polymer electrolytes for liquid electrolyte replacement is to minimize leakage in the battery system. Solid polymer electrolyte performance is still being developed to have ion conductivity equivalent to liquid electrolyte performance. One attempt to boost the efficiency of solid polymer electrolytes by incorporating SN (*succinonitrile*). SN is a flexible matrix for transmitting lithium ions to solid polymer electrolytes; high polarity SN is expected to help extract lithium ions from LiBOB electrolyte salts. Increased ion mobility can result in high ion conductivity. The addition of SN solid polymer electrolytes was varied by combining slurry and solution casting methods. The FE-SEM (*field emission-scanning electron microscopy*) and XRD (*x-ray diffraction*) characterization of SN 32% addition showed pore holes and amorphous structure, making it easier for lithium ions to pass uniformly. TGA / DSC (*thermogravimetric analysis / differential calorimetric scanning*) test results show that solid polymer electrolytes undergo temperature stability of 117 °C with a weight loss of 25.1% and have the smallest degree of crystallinity. The addition of SN 32% showed that the 2.2-volt electrochemical stability windows were large enough to test linear sweep voltammetry. Ionic conductivity tests were performed using EIS (*electrochemical impedance spectroscopy*); the results showed the conductivity value of solid polymer electrolytes. The addition of SN 32% was 6.711×10^{-8} S/cm, still lower than the liquid electrolyte conductivity. Optimization of the amount of SN and solid electrolytes also needs to be done to increase battery efficiency.

Keywords: Solid Polymer Electrolyte, *Succinonitrile*, LiBOB, Li-ion Battery

1. PENDAHULUAN

Dua dekade terakhir menjadi saksi perkembangan teknologi yang pesat. Banyak gawai baru dihasilkan, dan kesibukan manusia menjadikan gawai portabel semakin dibutuhkan. Baterai sekunder yang dapat diisi ulang sangat menarik untuk diteliti dan dikembangkan karena densitas energinya tinggi dan siklus hidupnya panjang. Pada perkembangannya di awal tahun 1990-an, baterai sekunder menggunakan material NiMH dan NiCD untuk elektroda. Material ini memiliki *memory effect* yang menjadikan kapasitasnya lekas menurun [1]. Sekitar tahun 1990, Sony Corporation memperkenalkan baterai ion litium yang terbukti lebih stabil dan kapasitasnya lebih baik [2].

Baterai ion litium memiliki tiga komponen utama: elektroda (positif dan negatif), elektrolit, dan separator. Elektrolit bertugas sebagai penghantar ion litium antar elektroda, sedangkan separator berfungsi sebagai isolator untuk mencegah arus pendek. Baterai komersial yang dijual di pasaran menggunakan elektrolit cair berupa garam litium heksafluoropospat (LiPF_6) yang dilarutkan dalam pelarut organik EC (etilen karbonat), EMC (etil metil karbonat), dan DMC (dimetil karbonat). Dalam pelarut ini, LiPF_6 mudah terdegradasi menjadi PF_6^- dan bersifat merusak terhadap material elektroda terutama pada operasi di suhu tinggi [3]. Selain itu, pelarut-pelarut organik tersebut bersifat beracun dan dapat mencemari lingkungan jika baterai dibuang [4].

Elektrolit polimer padat kemudian dikembangkan sebagai solusi [5]-[6]. Bertindak sebagai separator sekaligus elektrolit, ia dapat menghantarkan ion litium sekaligus mengisolasi elektron sehingga tidak terjadi arus pendek. Kelemahannya adalah konduktivitas ionik yang relatif rendah jika dibandingkan dengan elektrolit cair di baterai ion litium konvensional. Kelemahan ini diperbaiki salah satunya dengan penambahan zat aditif ke dalam matriks polimer [7]-[9]. Zat aditif ini diharapkan dapat mengurangi kristalinitas sistem kompleks polimer sehingga mempermudah gerakan ion litium antar elektroda, dan dengan demikian dapat meningkatkan konduktivitas ioniknya.

Penelitian ini menggunakan *succinonitrile* (SN) sebagai zat aditif karena SN dapat menurunkan impedansi anoda dan memiliki stabilitas termal yang baik untuk berbagai material elektroda [10]-[11]. Kristalinitas membrane polimer padat berkurang pada penambahan SN hingga konsentrasi tertentu [12]-[13].

2. PROSEDUR PERCOBAAN

2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam pembuatan EPP (elektrolit polimer padat) adalah PVdF-HFP (*poly(vinylidene fluoride-hexafluoropropylene)*) sebagai polimer, lithium bis(oxalato) borat (LiBOB) sebagai garam dan SN (*succinonitrile*) sebagai aditif. Semua bahan merupakan produk dari Sigma Aldrich. *N,N*-dimethylacetamide (DMAC) dari produk Merck digunakan sebagai pelarut karena mudah melarutkan semua bahan yang digunakan dalam eksperimen ini dengan baik.

Tabel 1. Komposisi sampel EPP (elektrolit polimer padat)

No	Kode Sampel EPP	Komposisi EPP		
		PVdF-HFP (% berat)	SN (% berat)	LiBOB (% berat)
1	(a)	80	0	20
3	(b)	48	32	20
4	(c)	40	40	20

2.2 Proses pembuatan EPP (elektrolit polimer padat)

EPP (elektrolit polimer padat) dibuat dengan metode *solution casting*. Tahap pertama dalam pembuatan EPP adalah membuat *slurry* (larutan kental) dengan melarutkan garam elektrolit LiBOB dan additive SN (*succinonitrile*) ke dalam pelarut DMAC melalui proses *mixing* hingga larut dengan variasi komposisi seperti pada Tabel 1. Proses *mixing* dilakukan diatas *hot plate* dengan bantuan *magnetic stirrer* pada temperatur 60-80 °C dengan kecepatan 240 rpm. Tahap berikutnya, larutan campuran tersebut ditambahkan PVdF-HFP sebagai matriks polimer dengan proses yang sama hingga terbentuk *slurry*. *Slurry* yang dihasilkan kemudian dicor pada substrat kaca, kemudian dibiarkan hingga mengering pada kondisi temperatur kamar.

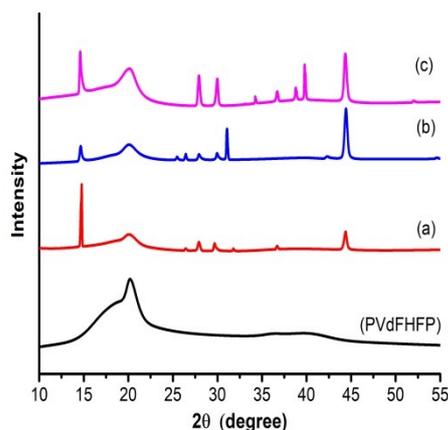
2.3 Karakterisasi EPP (elektrolit polimer padat)

Karakterisasi sampel EPP (elektrolit polimer padat) pada penelitian ini adalah pengujian konduktivitas menggunakan EIS (*electrochemical impedance spectroscopy*) dengan LCR meter HIOKI 3532150 *chemical impedance meter*. Struktur dan fasa EPP dikarakterisasi menggunakan XRD (*x-ray diffractometer*) Rigaku Smart Lab, dengan target Cu K λ ($\lambda=1,5406\text{\AA}$) dengan rentang sudut $2\theta = 0-55^\circ$. Morfologi EPP diamati menggunakan FE-SEM (*field emission scanning electron microscopy*) dari JEOL model Jib4610f dengan

akselerasi voltase 10kV dan menggunakan perbesaran 500x. Kestabilan panas diamati dengan menggunakan TGA/DSC Linseis dengan laju pemanasan 10 °C min⁻¹ pada temperatur 0 - 500 °C. Untuk mengetahui lebar jendela tegangan yang dimiliki, sampel tersebut diamati dengan LSV (*linear sweep voltammetry*) menggunakan alat WBCS3000 *automatic battery cyler*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

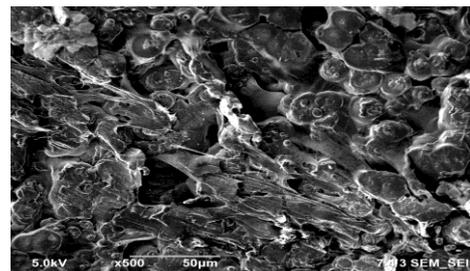
Pola difraksi sinar-x untuk EPP (elektrolit polimer padat) yang tersusun dari polimer PVdF-HFP/LiBOB dengan variasi penambahan SN (*succinonitrile*) diperlihatkan pada Gambar 1. Dari gambar terlihat pola difraksi PVdF-HFP murni memiliki puncak-puncak pada sudut 2θ sebesar 20,08 dan 38,02 pola difraksi seperti ini pada umumnya dimiliki oleh bahan yang berstruktur semikristalin yaitu campuran bagian kristal dan amorf [14]. Di dalam EPP, penurunan intensitas puncak difraksi sinar-x mengindikasikan terjadinya peningkatan sifat amorf [15].



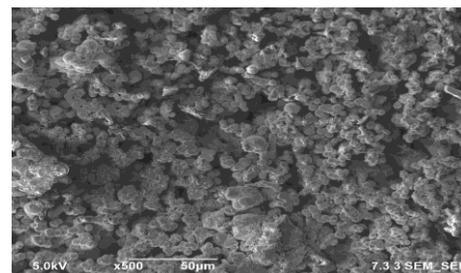
Gambar 1. Spektrum EPP hasil XRD yang mengandung PVdF-HFP/LiBOB dengan variasi penambahan aditif SN: (a) 0%, (b) 32% dan (c) 40% dan polimer PVdF HFP murni

Pada Gambar 1(a) terlihat bahwa penambahan garam LiBOB akan menyebabkan terjadi puncak-puncak difraksi pada sudut 2θ = 14,72; 20,14; 26,50; 28,39; 29,57; 31,69; 36,88 dan 44,36 hal ini menunjukkan telah terjadi kompleksasi antara LiBOB dengan polimer PVdF-HFP. Penambahan SN sebesar 32% (sampel EPP (b)) menyebabkan terjadi perubahan intensitas puncak difraksi pada sudut 2θ = 14,72 terjadi penurunan dan sebaliknya pada sudut 2θ = 44,36 terjadi peningkatan seperti terlihat pada Gambar 1(b). Hal ini dapat dikatakan bahwa pada sampel EPP (b) telah terbentuk senyawa kompleks antara polimer PVdF HFP dengan garam litium serta aditif SN (*succinonitrile*),

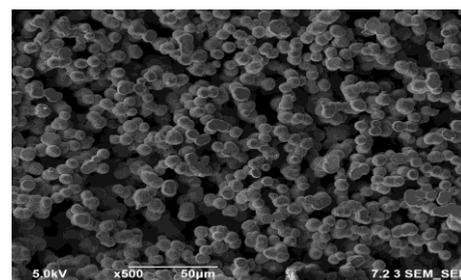
fenomena tersebut juga mengindikasikan telah terjadi peningkatan sifat amorf. Sedangkan pada penambahan SN sebesar 40% (sampel EPP (c)) akan terjadi peningkatan intensitas pada beberapa puncak difraksi serta munculnya puncak-puncak difraksi baru seperti terlihat pada gambar 1(c). Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan penambahan konsentrasi SN sebesar 40% akan menurunkan sifat amorf, sehingga dapat dikatakan bahwa sampel EPP (c) mempunyai sifat amorf yang lebih rendah dari pada sampel dengan penambahan SN sebesar 32% atau sampel EPP (b).



(b)



(b)



(b)

Gambar 2. FE-SEM sistem polimer PVdF-HFP/LiBOB dengan variasi penambahan aditif SN : (a) 0%, (b) 32% dan (c) 40%

Analisis FE-SEM bertujuan untuk mengetahui morfologi dari sampel EPP yang tersusun dari PVdF-HFP/LiBOB dan aditif SN sehingga dapat menunjukkan homogenitas suatu sistem polimer elektrolit padat. Pori yang terdapat pada sampel EPP berfungsi untuk transportasi pembawa muatan dalam elektrolit. Semakin berpori maka semakin baik distribusi ionnya. Struktur EPP pada Gambar 2(b)

menunjukkan bahwa pori tidak terlalu dalam atau tidak terlalu gelap, dan jumlah pori lebih banyak bila dibandingkan dengan sampel EPP pada Gambar 2(a). Pori yang terlihat seperti daerah gelap menunjukkan bahwa pori tersebut tidak terlalu dalam sehingga masih dapat difungsikan sebagai separator dan masih dapat terjadi peristiwa distribusi ion.

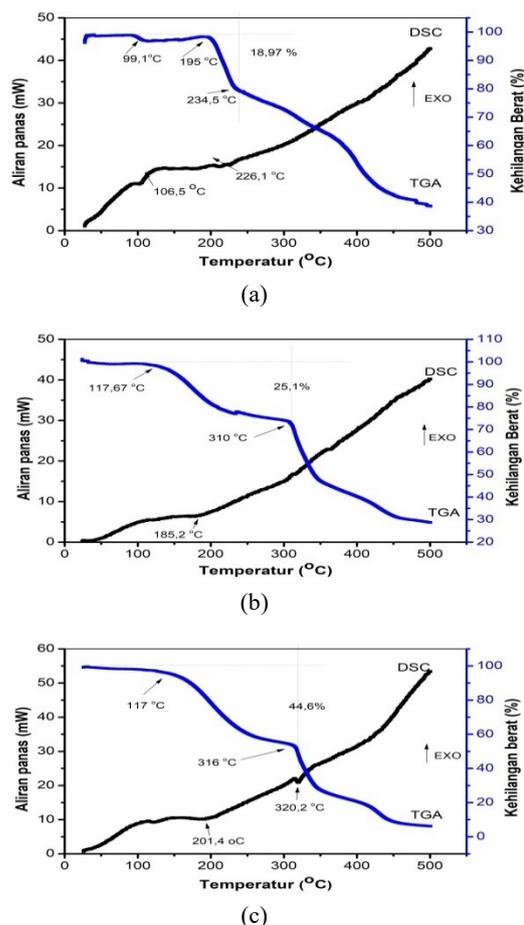
Adanya aditif SN dapat mempengaruhi bentuk morfologi EPP. Penambahan SN menyebabkan permukaan EPP menjadi berongga, dan membuat EPP menjadi terbuka sehingga membentuk pori. Keberadaan gugus polar nitril yang terdapat dalam SN akan memudahkan peleburan garam dalam campuran dan penetrasi SN antara rantai polimer, hal ini akan meningkatkan tersedianya volume untuk migrasi ion [16]. Penambahan aditif SN yang semakin banyak akan berpengaruh terhadap kerapatan pori, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2(c). Pada gambar yang berbentuk *spherical* tersebut pori terlihat terlalu dalam sehingga dapat menyebabkan EPP tidak dapat berfungsi dengan baik sebagai separator.

Morfologi seperti pada Gambar 2(c) ini mempunyai kemiripan dengan polimer elektrolit PVdF-HFP/SN dan garam BMPTFSI yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, serta dengan bertambahnya jumlah SN yang ditambahkan menyebabkan ukuran pori membesar [13].

EPP yang tersusun dari polimer PVdF-HFP/LiBOB/SN mempunyai kestabilan panas hingga temperatur 195 °C, namun pada temperatur 99 °C terjadi penurunan berat sebesar 2,67%. Hal ini ditunjukkan dengan terjadinya perubahan kecil *base line* aliran panas pada kurva TGA-DSC (Gambar 3(a)). Pada sampel EPP (b) dan (c) masing-masing dengan penambahan SN sebesar 32% dan 40% mempunyai kestabilan panas hingga temperatur sekitar 117 °C. Pada Gambar 3 terlihat bahwa semua sampel EPP mengalami dekomposisi secara bertahap. Pada sampel EPP (a) terjadi penurunan berat dari temperatur 99-234 °C sebesar 12,23%, pada sampel (b) secara perlahan terjadi penurunan berat pada temperatur 117 °C hingga 310 °C sebesar 25,1%. Peningkatan penambahan SN akan meningkatkan jumlah penurunan berat hingga 44,6% seperti terlihat pada Gambar 3(c).

Menurut Saiki dan Kumar [17], polimer PVdF-HFP mempunyai titik leleh (T_m) pada temperatur sekitar 144,8 °C. Penambahan garam LiBOB terhadap polimer PVdF HFP akan meningkatkan titik leleh (T_m) hingga temperatur 172,1 °C [18]. Hal ini menunjukkan telah terjadi interaksi garam elektrolit di dalam sistem polimer. Adanya garam elektrolit pada

sistem polimer PVdF-HFP/LiBOB/SN menyebabkan puncak titik leleh PVdF-HFP maupun SN tidak nampak. Tidak nampaknya puncak leleh SN dan terbentuknya puncak titik leleh baru atau puncak fasa transisi mengindikasikan bahwa fasa transisi SN telah terjadi perubahan fasa dari *monoclinic* (beraturan) menjadi fasa amorf (tidak beraturan). Temperatur leleh (T_m) SN adalah 49 °C [19], sehingga dengan penambahan aditif SN akan meningkatkan kelarutan garam LiBOB dengan harapan dapat meningkatkan konsentrasi LiBOB.



Gambar 3. Kurva TGA-DSC EPP yang mengandung polimer PVdF-HFP/LiBOB/SN dengan variasi penambahan aditif succinonitrile : (a) 0%, (b) 32% dan (c) 40%

Tabel 2. Titik leleh, entalpi leleh (ΔH_m) dan persentase relatif kristalinitas sistem PVDF-HFP/LiBOB /SN

Sampel EPP	T_m (°C)	ΔH_m (J g ⁻¹)	Xc (%)
(a)	226,1	-15,34	14,65
(b)	185,1	6,46	6,17
(c)	201,4	-10,475	10,01

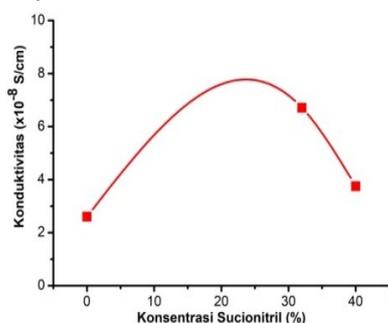
Tabel 2 menunjukkan titik leleh panas peleburan (ΔH_m) dan prosentase relatif kristal sistem PVDF-HFP/LiBOB/SN. Prosentase relatif kristal (X_c) sampel EPP dari sistem polimer

PVDF-HFP/LiBOB/SN dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

$$X_c = \frac{\Delta H_m^{komplek}}{\Delta H_m} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Dimana ΔH_m adalah panas peleburan standar untuk 100% kristal PVdF sebesar 104,7 J/g [18] dan $\Delta H_m^{komplek}$ adalah panas peleburan sampel EPP. Tabel 2 memperlihatkan bahwa sampel (b) yang mengandung 32% SN mempunyai nilai persentase relatif kristal (X_c) paling kecil.

Untuk mengetahui sifat elektrokimia telah dilakukan pengujian konduktivitas dan LSV (*linear sweep voltammetry*) pada EPP yang tersusun dari PVdF-HFP/LiBOB/SN dengan perbedaan jumlah konsentrasi SN.

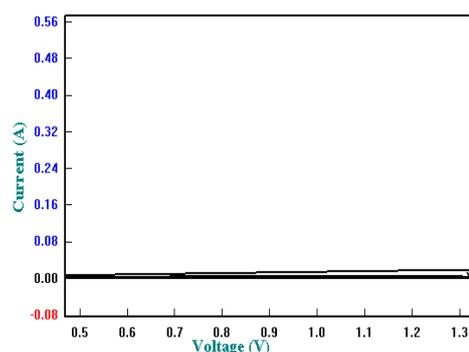


Gambar 4. Konduktivitas EPP yang mengandung PVdF-HFP/LiBOB/SN dengan variasi penambahan aditif succinonitrile : (a) 0 %, (b) 32 % dan (c) 40 %

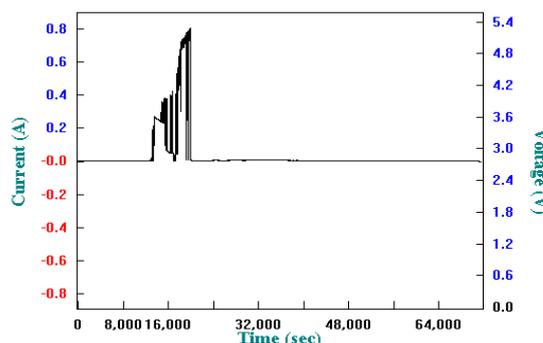
Pengujian konduktivitas dengan kondisi pengukuran pada temperatur ruang diperlihatkan seperti pada Gambar 4. Gambar 4 menunjukkan bahwa penambahan SN sebesar 32% berat sebagai sampel (b) mempunyai konduktivitas ion tertinggi dibandingkan dengan kedua EPP lainnya yaitu sebesar $6,711 \times 10^{-8}$ S/cm. Menurut Li Zhen Fan [12], konduktivitas polimer yang mengandung 40% [PVdF-HFP/LiTFSI] - 60% SN adalah lebih tinggi dari 1×10^{-3} S/cm pada temperatur diatas 0 °C dan dengan penambahan 35% SN konduktivitas sebesar ini dapat dicapai pada temperatur 30 °C. Sedangkan penelitian yang telah dilakukan oleh X.L.Wu [20] polimer elektrolit PEO/LiBOB dengan penambahan SN hingga 25% berat menunjukkan konduktivitas bisa mencapai orde $\sim 10^{-5}$ S/cm pada temperatur kamar dan tanpa penambahan SN, konduktivitas hanya mencapai orde 10^{-7} S/cm.

Keberadaan gugus polar nitril pada SN akan mempermudah terjadi peleburan garam dalam campuran dan sebagai penetrasi antara rantai polimer sehingga akan meningkatkan tersedianya volume untuk migrasi ion [5].

Berdasarkan hasil analisa XRD menunjukkan bahwa sampel EPP (b) mempunyai struktur yang lebih amorf dibandingkan dengan ke dua EPP lainnya. Namun penambahan aditif SN yang semakin banyak hingga 40 % berat dapat mengakibatkan terjadi penggumpalan dan kerapatan pori sehingga dapat menyebabkan EPP tidak berfungsi dengan baik sebagai separator. Hal ini menyebabkan konduktivitas ion menurun karena migrasi ion terhambat.



(a)



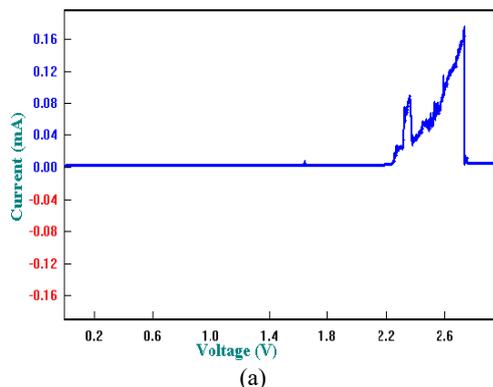
(b)

Gambar 5. Grafik LSV EPP yang mengandung PVdF-HFP/LiBOB/ tanpa SN, (a) current vs voltage dan (b) current vs time

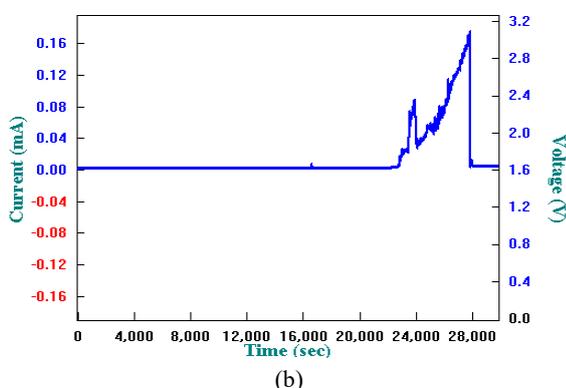
Hasil pengujian LSV memberikan informasi mengenai perubahan arus dari variasi tegangan yang diberikan dengan menggunakan elektrolit polimer PVDF-HFP, LiBOB dan SN. Grafik LSV menampilkan performa elektrokimia pada saat proses pengisian (*charging*) dan pemakaian (*discharging*).

Gambar 5 menunjukkan performa sel baterai dengan polimer PVDF-HFP/LiBOB tanpa penambahan SN. Berdasarkan Gambar 5 terlihat bahwa sampel EPP mengalami kestabilan selama ± 12.000 detik ketika tegangan yang diberikan berada pada range 0 - 1,265 volt. Namun ketika diberikan tegangan sebesar 1,35 volt akan terjadi perubahan arus menjadi 0,2 A setelah 13000 detik. Ketidakstabilan tersebut menunjukkan kemampuan sel baterai dalam menerima

tegangan yang diberikan. Selain itu, ketidakstabilan dapat disebabkan karena masih terdapatnya pengotor-pengotor pada saat pembuatan elektrolit polimer padat.



(a)



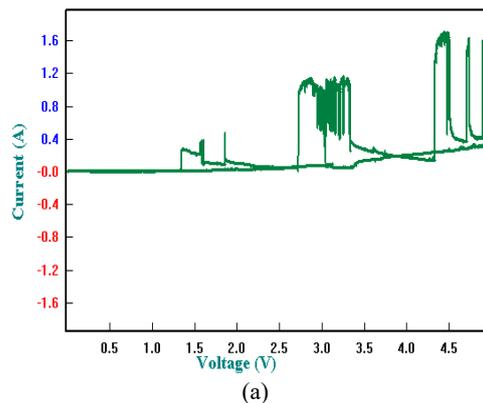
(b)

Gambar 6. Grafik EPP yang mengandung PVdF-HFP/LiBOB/SN dengan penambahan aditif SN; 32%, dimana (a) *current vs voltage*, dan (b) *current vs time*

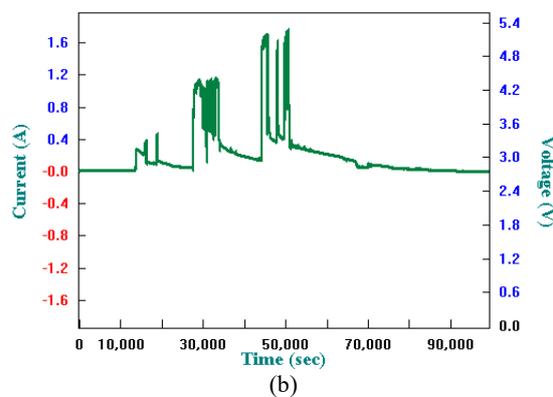
Dari Gambar 6 terlihat bahwa kestabilan terjadi selama 23.000 detik dan reaksi elektrokimia terjadi lebih lambat dibandingkan dengan membran yang tidak ditambahkan SN. Grafik mengalami ketidakstabilan ketika sel diberikan tegangan sebesar 2,2 volt. Arus listrik mengalami peningkatan menjadi sekitar 0,02 A.

Hasil analisis menunjukkan bahwa performa sel baterai yang menggunakan elektrolit EPP dengan penambahan SN 32% berat atau disebut sebagai sampel EPP (b) lebih baik dibandingkan dengan sel yang menggunakan EPP tanpa penambahan SN. Hal ini dapat disebabkan oleh luas tegangan kerja dari elektroda tersebut. Secara teoritis, semakin luas tegangan kerja elektroda maka semakin besar kapasitas baterai, sehingga lebih banyak bahan aktif yang dapat menampung ion lithium dan elektron sehingga mampu menghasilkan energi listrik lebih besar [17],[21]. Peningkatan penambahan SN hingga 40% berat seperti pada sampel EPP (c) dapat mengakibatkan adanya penggumpalan dan menutup pori. Ketika reaksi elektrokimia berlangsung, efisiensi EPP sebagai separator menurun. Fungsi utama dari separator adalah

untuk memastikan terjadinya aliran ion dan mencegah terjadinya hubungan arus pendek di dalam sel baterai [22].



(a)



(b)

Gambar 7. Grafik LSF EPP yang mengandung PVdF-HFP/LiBOB/SN dengan penambahan aditif SN; 40 %, dimana (a) *current vs voltage*, dan (b) *current vs time*

4. KESIMPULAN

Telah dilakukan penelitian tentang upaya peningkatan performa EPP (elektrolit polimer padat) dengan menambahkan aditif SN (*succinonitrile*) pada sistem PVdF HFP/LiBOB dengan metode *solution casting*.

Berdasarkan hasil analisa XRD (x-ray diffraction) dan FE-SEM (*field emission scanning electron microscopy*) menunjukkan bahwa EPP yang mengandung 32 % SN mempunyai sifat amorf yang lebih besar dibandingkan dengan EPP lain serta memperlihatkan adanya lubang pori yang memudahkan ion lithium untuk berpindah secara merata.

Penambahan SN akan menyebabkan kestabilan hingga temperatur 117 °C, namun penambahan yang berlebih hingga 40% SN akan menyebabkan kehilangan berat sampai 44,6%. Sedangkan penambahan 32% SN terjadi kehilangan berat hanya 25,1%, serta menunjukkan nilai derajat kristalinitas terkecil.

Hasil analisis sifat elektrokimia menunjukkan bahwa EPP yang mengandung 32%

SN mempunyai nilai konduktivitas terbesar yaitu $6,711 \times 10^{-8}$ S/cm dan mempunyai jendela tegangan (tegangan kerja) stabilitas elektrokimia yang lebih lebar yaitu 2,2 V dibandingkan dengan kedua EPP lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Pusat Penelitian Fisika LIPI dan Kementrian Riset dan Teknologi dan Pendidikan Tinggi melalui program kegiatan Insinas 2019 “Ekstraksi Litium sebagai Bahan Baku Baterai Litium” atas fasilitas dan dukungan hingga terlaksananya penelitian ini. Kontributor utama dalam penulisan makalah ilmiah ini adalah Titik Lestariningsih.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Gonçalves, D. Miranda, A. M. Almaeda, dan M. M. Silva, “Solid polymer electrolytes based on lithium bis(trifluoromethanesulfonyl)imide/poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene) for safer rechargeable lithium-ion batteries,” *Sustain. Mater. Technol.*, vol. 21, 2019.
- [2] M. X. Y. M. Lizhen Long, dan S. Wang, “Polymer electrolytes for lithium polymer batteries,” *J. Mater. Chem. A*, vol. 4, no. 26, pp. 10038–10039, 2016.
- [3] N. P. W. Pieczonka, L. Yang, M. P. Balogh, B. R. Powel, K. Chemelewski, A. Manthiram, dan S. A. Krachovskiy, “Impact of lithium bis(oxalate)borate electrolyte additive on the performance of high-voltage spinel/graphite Li-ion batteries,” *J. Phys. Chem. C*, vol. 117, no. 44, pp. 22603–22612, 2013.
- [4] K. Xu, S. Zhang dan T. R. Jow, “LiBOB as additive in LiPF₆-based lithium ion electrolytes,” *Electrochem. Solid-State Lett.*, vol. 8, no. 7, pp. 1–5, 2005.
- [5] D. E. Fenton, J. M. Parker, dan P. V. Wright, “Complexes of alkali metal ions with poly(ethylene oxide),” *Polymer (Guildf.)*, vol. 14, no. 11, p. 589, 1973.
- [6] P. V. Wright, “Electrical conductivity in ionic complexes of poly(ethylene oxide),” *Br. Polym. J.*, vol. 7, no. 5, pp. 319–327, 1975.
- [7] G. Hirankumar dan N. Mehta, “Effect of incorporation of different plasticizers on structural and ion transport properties of PVA-LiClO₄ based electrolytes,” *Heliyon*, vol. 4, no. 12, 2018.
- [8] G.-Y. Kim, R. Petibon, dan J. R. Dahn, “Effects of succinonitrile (SN) as an electrolyte additive on the impedance of LiCoO₂/graphite pouch cells during cycling,” *J. Electrochem. Soc.*, vol. 161, no. 4, pp. A506–A512, 2014.
- [9] M. R. Johan, O. H. Shy, S. Ibrahim, S. M. Mohd Yassin, dan T. Y. Hui, “Effects of Al₂O₃ nanofiller and EC plasticizer on the ionic conductivity enhancement of solid PEO-LiCF₃SO₃ solid polymer electrolyte,” *Solid State Ionics*, vol. 196, no. 1, pp. 41–47, 2011.
- [10] A. Abouimrane dan I. J. Davidson, “Solid electrolyte based on succinonitrile and LiBOB,” *J. Electrochem. Soc.*, vol. 154, no. 11, p. A1031, 2007.
- [11] R. C. R. Chen, F. Liu, Y. Chen, Y. Ye, Y. Huang, dan F. Wu, L. Li, “An investigation of functionalized electrolyte using succinonitrile additive for high voltage lithium-ion batteries,” *J. Power Sources*, vol. 306, pp. 70–77, 2016.
- [12] L. Z. Fan, Y. S. Hu, A. J. Bhattacharyya, dan J. Maier, “Succinonitrile as a versatile additive for polymer electrolytes,” *Adv. Funct. Mater.*, vol. 17, no. 15, pp. 2800–2807, 2007.
- [13] M. Suleman, Y. Kumar, dan S. A. Hashmi, “Structural and electrochemical properties of succinonitrile-based gel polymer electrolytes: Role of ionic liquid addition,” *J. Phys. Chem. B*, vol. 117, no. 24, pp. 7436–7443, 2013.
- [14] S. K. Tripathi, A. Gupta, dan M. Kumari, “Studies on electrical conductivity and dielectric behaviour of PVdF-HFP-PMMA-NaI polymer blend electrolyte,” *Bull. Mater. Sci.*, vol. 35, no. 6, pp. 969–975, 2012.
- [15] N. K. Jyothi, K. K. Venkataratnam, P. N. Murty, dan K. V. Kumar, “Preparation and characterization of PAN-KI complexed gel polymer electrolytes for solid-state battery applications,” *Bull. Mater. Sci.*, vol. 39, no. 4, pp. 1047–1055, 2016.
- [16] P. J. Alarco, Y. Abu-Lebdeh, A. Abouimrane, dan M. Armand, “The plastic-crystalline phase of succinonitrile as a universal matrix for solid-state ionic conductors,” *Nat. Mater.*, vol. 3, no. 7, pp. 476–481, 2004.
- [17] P. Lv, Y. Li, Y. Wu, G. Liu, H. Liu, S. Li, C. Tang, J. Mei, dan Y. Li, “Robust succinonitrile-based gel polymer electrolyte for lithium-ion batteries withstanding mechanical folding and high temperature,” *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 10, no. 30, pp. 25384–25392, 2018.
- [18] S. Ibrahim and N. S. Mohamed, “Thermal and Electrical Properties of PVDF-HFP-

LiCF₃SO₃-ZrO₂ Nanocomposite Solid Polymer Electrolytes,” *Adv. Mater. Res.*, vol. 129–131, pp. 526–530, 2010.

- [19] T. Lestariningsih, Q. Sabrina, C. R. Ratri, and I. Nuroniah, “Structure, thermal and electrical properties of PVDF-HFP/LiBOB solid polymer electrolyte,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1191, no. 1, 2019.
- [20] H. Zeng, X. Jia, F. Tsaia, Q. Zhanga, T. Jianga, R. K.Y. Li, H. Shic, S. Luan and D. Shi, “Enhanced cycling performance for all-solid-state lithium ion battery with LiFePO₄ composite cathode encapsulated by poly (ethylene glycol) (PEG) based polymer electrolyte,” *Solid State Ionics*, vol. 320, no. February, pp. 92–99, 2018.
- [21] A. Satriady, W. Alamsyah, A. H. I. Saad, and S. Hidayat, “Pengaruh Luas Elektroda Terhadap Karakteristik Baterai LiFePO₄,” *J. Mater. dan Energi Indonesia*, vol. 06, no. 02, pp. 43–48, 2016.
- [22] A. Moretti, G. Giuli, F. Nobili, A. Trapananti, G. Aquilanti, R. Tossici, and R. Marassia, “Structural and Electrochemical Characterization of Vanadium-Doped LiFePO₄ Cathodes for Lithium-Ion Batteries,” *J. Electrochem. Soc.*, vol. 160, no. 6, pp. A940–A949, 2013.