

## PENGARUH PENAMBAHAN GARAM-GARAM LITHIUM TERHADAP SIFAT ELEKTROLIT PADAT POLIMER BERBASIS KITOSAN

Evi Yulianti, Sudaryanto dan Jadigia Ginting

Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju – BATAN  
Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan 15314  
E-mail : [yulianti@batan.go.id](mailto:yulianti@batan.go.id)

Diterima: 31 Agustus 2014

Diperbaiki: 16 Februari 2015

Disetujui: 10 Maret 2015

### ABSTRAK

**PENGARUH PENAMBAHAN GARAM-GARAM LITHIUM TERHADAP SIFAT ELEKTROLIT POLIMER BERBASIS KITOSAN.** Telah dilakukan penelitian untuk mempelajari pengaruh penambahan berbagai jenis garam *lithium* terhadap sifat elektrolit polimer berbasis kitosan yang akan diaplikasikan pada baterai *lithium* isi ulang. Adapun jenis garam *lithium* yang ditambahkan adalah Li-Asetat, Li-Perklorat,  $\text{LiPF}_6$  dan Li-Triflat dengan komposisi yang sama. Pembuatan lembaran elektrolit polimer padat dilakukan dengan metode *casting* dengan penguapan perlahan di dalam oven. Karakterisasi lembaran elektrolit padat dilakukan menggunakan *X-Ray Diffractometer (XRD)*, spektroskopi infra merah (*FT-IR*), spektrometer impedansi (*LCR meter*) dan pengukuran bilangan transfer ion. Hasil karakterisasi sinar X menunjukkan bahwa penambahan berbagai jenis garam *lithium* merusak kristalinitas kitosan. Pengukuran konduktivitas ionik memberikan hasil tertinggi pada penambahan garam Li-Perklorat, yang nilainya masih pada orde yang sama dengan penambahan garam  $\text{LiPF}_6$  dan Li-Triflat  $\sim 10^{-6}$  S/cm. Konduktivitas juga mengalami kenaikan dengan kenaikan suhu. Energi aktivasi terendah 0,016 eV dan bilangan transfer ion tertinggi  $\sim 0.5$  diperoleh pada penambahan garam  $\text{LiPF}_6$ .

**Kata kunci:** Kitosan, Garam *lithium*, Elektrolit polimer, Transfer ion, Energi aktivasi

### ABSTRACT

**THE EFFECT OF LITHIUM SALTS ADDITION TO THE PROPERTY OF SOLID POLYMER ELECTROLYTE CHITOSAN.** The effect of various lithium salt addition to properties of solid polymer electrolyte chitosan for rechargeable lithium battery application has been studied. There are various lithium salt added such as: Li-Acetate, Li-Perchlorate,  $\text{LiPF}_6$  and Li-Triflate with the same composition. Preparation of solid polymer electrolyte films were carried by a casting method with slow evaporation in the oven. Characterization of the solid electrolyte film, were conducted by using X-ray diffractometer (XRD), Fourier Transformation Infra Red (FT-IR) Spectroscopy, impedance spectrometer (LCR-meters) and determination of ion transfer number. X-Ray Diffraction (XRD) data shows that various lithium salt addition disrupts the crystallinity of chitosan. Ionic conductivity measurement showed that the highest conductivity with the Li-perchlorate addition, which is still the same orde with the  $\text{LiPF}_6$  and Li-Triflate addition of about  $10^{-6}$ . The ionic conductivity also increases with the increasing of temperature. The lowest activation energy ( $E_a$ ) of 0.016 eV and the highest ionic transfer number  $\sim 0.5$  are obtained with the  $\text{LiPF}_6$  addition.

**Keywords :** Chitosan, Lithium salts, Polymer electrolyte, Ionic transfer, Activation energy

### PENDAHULUAN

Penelitian tentang elektrolit padat sebagai salah satu komponen baterai saat ini banyak dilakukan berkenaan dengan semakin meningkatnya penggunaan

piranti elektronik yang *portable*. Bahan elektrolit padat berbasis polimer (*Solid Polymer Electrolyte, SPE*) mempunyai banyak kelebihan dibanding bahan elektrolit

padat lainnya yaitu : mudah dibentuk sesuai keinginan, mudah difabrikasi, kuat secara mekanik dan fleksibel untuk didisain sehingga memungkinkan untuk miniaturisasi. Walaupun elektrolit cair memiliki konduktivitas ionik lebih tinggi, untuk alasan keamanan mengganti elektrolit cair dengan elektrolit padat merupakan hal yang sangat penting untuk dilakukan [1-3].

Elektrolit padat polimer pertama kali diteliti oleh Wright dkk yang menemukan bahwa polimer polietilen oksida (PEO) bisa menghantarkan ion pada suhu ruang [1,4]. Elektrolit polimer padat dibuat dengan melarutkan garam-garam an organik seperti garam *lithium* dalam matriks polimer. Bahan-bahan ini menunjukkan konduktivitas ionik lebih rendah dari cairan elektrolit. Oleh sebab itu konduktivitas ionik menjadi karakteristik penting dalam pengembangan bahan ini. Usaha yang ekstensif telah banyak dilakukan untuk pengembangan bahan ini. Untuk meningkatkan konduktivitas polimer dilakukan berbagai usaha antara lain memodifikasi jenis polimer ini dengan plastisasi dan pembentukan komposit dengan menambahkan bahan oksida anorganik sebagai filler.[5-9] Polimer lain seperti polikaprolakton (PCL), polimetil metakrilat (PMMA) dan poliviniliden florida (PVDF) juga telah banyak diteliti sebagai bahan elektrolit polimer dalam piranti penyimpanan energi [10-13].

Pada saat ini juga banyak dikembangkan elektrolit polimer yang berasal dari polimer alam, antara lain kitosan. Kitosan diproduksi secara komersial dari proses deasetilasi kitin, yang merupakan elemen struktural dalam exoskeleton crustacea (kepiting dan udang) dan dinding sel jamur yang kelimpahan alaminya tidak terbatas. Pemanfaatan polimer terbiodegradasi seperti kitosan sebagai elektrolit padat tidak hanya akan membuat ramah lingkungan tetapi juga memberikan kemampuan pemrosesan yang sangat baik untuk membuat membran, sehingga dapat dirancang bebas seperti untuk sistem sel baterai berlapis [14].

Penelitian elektrolit polimer padat berbasis kitosan telah banyak dilakukan. Salah satunya adalah fabrikasi film elektrolit padat berbasis kitosan menggunakan teknik implantasi ion. Konduktivitas ionik membran yang dihasilkan masih relatif rendah yaitu sekitar 10<sup>-7</sup> S/cm [15]. Penambahan berbagai jenis garam seperti garam Ag-Triflat dan NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> terhadap matriks kitosan dengan metode basah juga telah banyak dilakukan dalam rangka mendapatkan elektrolit polimer dengan nilai konduktivitas yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi [16].

Pada penelitian ini dipelajari kitosan sebagai media untuk menghantarkan ion-ion *lithium*. Salah satu kriteria agar suatu polimer bisa berfungsi sebagai penghantar ion adalah kemampuannya mensolvasi garam. Polimer dikatakan mensolvasi jika ada interaksi langsung antara pasangan elektron bebas dari atom-atom seperti oksigen dan nitrogen pada polimer dan kation-kation dari garam. Pada kitosan, atom nitrogen pada gugus fungsi amina

dan oksigen pada gugus fungsi hidroksil masing-masing mempunyai pasangan elektron bebas. Kation garam anorganik akan membentuk ikatan dengan oksigen atau nitrogen sehingga membentuk senyawa kompleks kitosan-garam. Kemampuan mensolvasi dipengaruhi oleh pasangan anion-kation yang ada pada garam tersebut [17]. Sehingga pada penelitian ini digunakan berbagai jenis garam *lithium* dengan pasangan anion yang berbeda untuk mengetahui perbedaan interaksi masing-masing garam litium dengan kitosan dan mempelajari pengaruhnya terhadap sifat elektrolit polimer yang dihasilkan.

## METODE PERCOBAAN

### Bahan dan Alat

Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini adalah kitosan yang dibuat di laboratorium Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR) - BATAN yang diisolasi dari kulit udang, asam asetat, berbagai jenis **garam *lithium*** yaitu Li-Asetat (LiCH<sub>3</sub>COO), Li-perklorat (LiClO<sub>4</sub>), LiPF<sub>6</sub> dan Li-Triflat (LiCF<sub>3</sub>SO<sub>3</sub>) yang semuanya dipesan dari *Sigma Aldrich* serta *aquadest*.

Peralatan yang digunakan dalam proses sintesa adalah pengaduk magnet, peralatan gelas seperti gelas beaker, pipet ukur serta cawan petri, serta oven untuk mengeringkan sampel.

### Cara Kerja

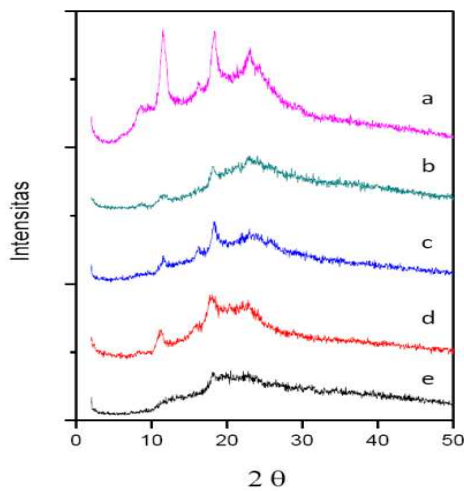
Film elektrolit polimer berbasis kitosan dibuat dengan metode *casting*. Untuk membuat film kitosan, sejumlah kitosan dan masing-masing garam *lithium* dicampur dengan komposisi yang sama yaitu 40% g/g [7,8] dan dilarutkan dalam asam asetat 1%. Campuran kemudian diaduk pada suhu ruang sampai semua kitosan dan garam-garam *lithium* larut dan terbentuk larutan yang homogen. Masing-masing larutan dengan kandungan garam *lithium* yang berbeda selanjutnya dituangkan ke dalam cawan petri dan dimasukkan ke dalam oven pengering dan diuapkan secara perlahan-lahan pada suhu 50 °C sampai terbentuk film elektrolit polimer.

Film elektrolit polimer selanjutnya dikarakterisasi meliputi struktur mikro untuk mengetahui pola difraksi sinar-X dan diamati dengan Shimadzu *X-Ray Diffractometer* XD-610. Film dipindai dengan berkas radiasi monokromatik menggunakan sumber Cu -K dengan  $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$  dan dipindai pada sudut  $2\theta = 5$  hingga 60. Spektroskopi Infra merah (*FT-IR*) dilakukan untuk mengamati terbentuknya senyawa kompleks antara garam dan polimer kitosan. Konduktivitas ionik dari film elektrolit diukur menggunakan *LCR Hi-tester* HIOKI 3532-50. Sedangkan bilangan transfer diukur dengan teknik polarisasi menggunakan tegangan ~ 1,5 V yang diberikan terhadap sampel yang dihubungkan

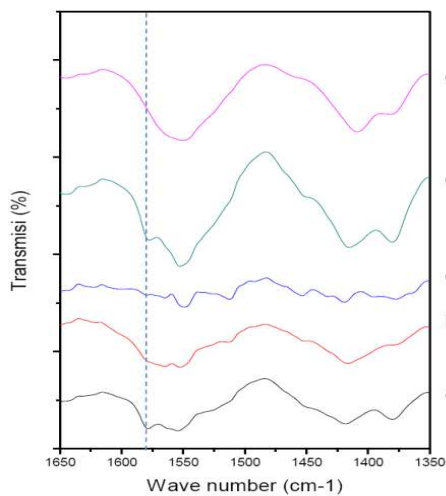
dengan multimeter dan *switch*. Polimer dijepit diantara dua elektroda. Arus polarisasi pada rangkaian akan berkurang dan nilainya diukur setiap 15 detik sampai diperoleh arus konstan yang diindikasikan sebagai arus kationik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola difraksi sinar-X untuk kitosan dengan berbagai jenis garam *lithium* diperlihatkan pada Gambar 1. Dari gambar terlihat pola difraksi kitosan murni memiliki puncak-puncak pada sudut  $2\theta$  sebesar 11,5 dan 18,2, dan satu puncak yang tidak tajam dan melebar pada sudut  $2\theta = 23,05$ . Pola difraksi seperti ini umumnya dimiliki oleh bahan yang bersifat semikristalin. Penambahan berbagai jenis garam *lithium* masing-masing memberikan pengaruh berbeda terhadap kitosan. Penambahan garam Li asetat menyebabkan puncak kitosan pada sudut  $2\theta = 11,5$  dan  $23,05$  hilang, sedangkan puncak pada sudut  $2\theta = 18,2$  masih terlihat walau intensitasnya semakin berkurang. Hal ini juga terjadi pada penambahan garam



Gambar 1. Spektrum XRD kitosan dengan berbagai jenis garam



Gambar 2. Spektrum FT-IR (a). kitosan (CA), (b) .CA+Li-Asetat, (c). CA+Li-Perklorat, (d) CA+LiPF<sub>6</sub> dan (e). CA+Li-Triflat

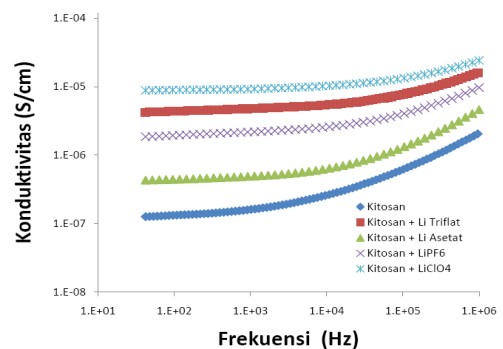
Li-perklorat (LiClO<sub>4</sub>). Sedangkan pada penambahan garam LiPF<sub>6</sub>, ketiga puncak masih terlihat, namun intensitasnya semakin berkurang dan puncak-puncak terlihat makin melebar. Pada penambahan garam Li-Triflat semua puncak sudah tidak terlihat.

Hilangnya puncak-puncak difraksi, berkurangnya intensitas puncak serta puncak makin melebar menunjukkan terbentuknya senyawa kompleks antara kitosan dan masing-masing garam *lithium*. Selain itu fenomena tersebut juga menunjukkan bahwa penambahan garam *lithium* mengakibatkan struktur kitosan menjadi semakin amorf [5,6].

Gambar 2 merupakan spektrum Infra Merah (FTIR) dari kitosan dan berbagai jenis garam *lithium*. Spektrum kitosan 2(a) yang diperoleh hampir mirip dengan yang diperoleh oleh R.Puteh dan Mobarak [14,18]. Dari Gambar 2(b)-(e) yang merupakan spectrum film kitosan yang telah ditambah dengan garam-garam *lithium* dapat diamati bahwa gugus amina yang puncaknya berada pada bilangan gelombang 1580 cm<sup>-1</sup> telah bergeser ke daerah bilangan gelombang yang lebih rendah. Ini menandakan bahwa telah terjadi ikatan atau senyawa kompleks antara garam dan atom nitrogen pada gugus amina. Pada waktu ditambahkan garam, puncak juga semakin bergeser ke daerah bilangan gelombang lebih rendah dan tumpang tindih dengan puncak -NH<sub>3</sub><sup>+</sup> pada 1560 cm<sup>-1</sup>. Dapat disimpulkan bahwa terjadi pembentukan kompleks ketika kation *lithium* dari garam berinteraksi dengan pasangan elektron bebas dari atom nitrogen dari gugus amina kitosan [16].

Konduktivitas film elektrolit kitosan dengan berbagai jenis garam *lithium* sebagai fungsi frekuensi yang diukur pada suhu ruang diperlihatkan pada Gambar 3. Frekuensi yang digunakan pada proses pengukuran berada pada kisaran 42-1 MHz. Pada Gambar 3 terlihat semua sampel menunjukkan adanya daerah yang datar atau relatif datar, yang menunjukkan nilai konduktivitas yang tidak bergantung pada frekuensi yang terjadi pada daerah frekuensi rendah sampai sedang. Daerah ini merepresentasikan nilai konduktivitas DC yang dimiliki oleh bahan elektrolit [6,19].

Selain itu secara umum konduktivitas ionik elektrolit kitosan mengalami peningkatan dengan penambahan berbagai jenis garam *lithium*. Penambahan



Gambar 3. Konduktivitas ionik kitosan dengan berbagai jenis garam Lithium

**Tabel 1.** Konduktivitas DC kitosan dengan berbagai jenis garam lithium

No.	Sampel	$\sigma_{dc}$
1.	Kitosan	1,32E-07
2.	Kitosan + Li-Asetat	4,53E-7
3.	Kitosan + Li-Perklorat	8,88E-6
4.	Kitosan + LiPF <sub>6</sub>	1,98E-6
5.	Kitosan + Li-Triflat	4,51E-6

berbagai jenis garam dengan komposisi yang sama (dalam persen berat) memberikan nilai konduktivitas ionik berbeda seperti terlihat pada Tabel 1.

Pada sistem elektrolit kitosan, konduktivitas ionik yang terjadi berasal dari pergerakan ion-ion di dalam matriks kitosan dalam hal ini ion *lithium* dan pasangan anionnya. Makin banyak ion tersolvasi dalam matriks maka semakin tinggi konduktivitas ionik elektrolit. Selain itu jenis anion yang terikat ke ion *lithium* juga mempengaruhi nilai konduktivitas ionik seperti terlihat pada Tabel 1. Makin besar perbedaan ukuran kation dengan anion dalam suatu sistem garam, makin mudah garam tersebut terdissosiasi. Akibatnya semakin banyak ion-ion didalam matriks polimer sehingga dapat meningkatkan konduktivitas ionik. Dari semua jenis garam yang dipakai garam Li-asetat merupakan garam dengan ukuran anion terkecil, dan relatif lebih sulit terdissosiasi sehingga memberikan nilai konduktivitas paling rendah. Dari data konduktivitas didapatkan urutan disosiasi garam-garam *lithium* di dalam matriks kitosan: Asetat < PF<sub>6</sub> ≤ Triflat ≤ Perklorat. Selain itu konduktivitas ionik juga bergantung kepada kestabilan ikatan antara ion-ion dengan gugus fungsi pada rantai polimer [19].

Konduktivitas ionik juga akan meningkat dengan kenaikan suhu. Kenaikan suhu mengakibatkan terjadinya peningkatan gerak vibrasi pada rantai utama polimer serta rantai samping. Kenaikan amplitudo vibrasi menyebabkan gugus-gugus fungsi yang membentuk kompleks dengan ion ion akan semakin dekat satu sama lain sehingga perpindahan ion-ion dari gugus yang ditempati ke gugus yang kosong akan semakin mudah dan memerlukan lebih sedikit energi. Kenaikan amplitudo juga bisa meningkatkan volume bebas di dalam sistem elektrolit polimer yang akan memudahkan gerak translasi ion-ion [20].

Konduktivitas ionik meningkat secara linier dengan kenaikan suhu seperti terlihat pada Gambar 4, dimana pengukuran dilakukan mulai dari suhu ruang (298 K) sampai 423 K. Kenaikan yang linier ini mengikuti persamaan *Arrhenius* berikut ini :

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(\frac{-E_a/K}{T}\right) \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

- $\sigma$  = Konduktivitas pada suhu T (dalam K),
- $K_B$  = Konstanta Boltzmann
- $E_a$  = Energi aktivasi
- $\sigma_0$  = Faktor eksponensial

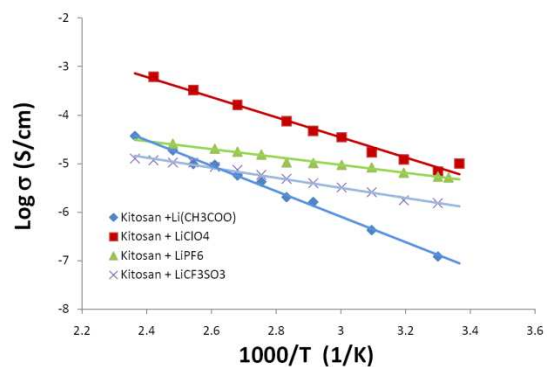
**Tabel 2.** Ea kitosan dengan berbagai jenis garam lithium

No.	Sampel	$E_a$ (eV)	R
1.	Kitosan + Li-Asetat	0,052	0,994
2.	Kitosan + Li-Perklorat	0,044	0,980
3.	Kitosan + LiPF <sub>6</sub>	0,016	0,979
4.	Kitosan + Li-Triflat	0,021	0,989

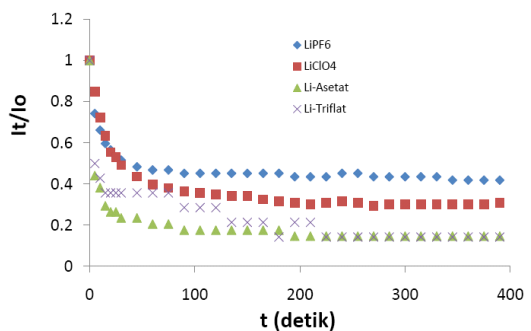
Energi aktivasi bisa dihitung dari kemiringan garis  $\ln \sigma$  versus  $1000/T$ . Energi aktivasi dalam elektrolit polimer merupakan energi yang diperlukan agar ion-ion bisa berpindah antar gugus fungsi dan nilai energi aktivasi kitosan dengan berbagai jenis garam *lithium* dapat dilihat pada Tabel 2.

Perpindahan ion-ion sebagian besar dipengaruhi oleh gerak segmental di dalam polimer. Semakin rendah energi aktivasi semakin cepat kon-duksi ion-ion dan semakin tinggi konduktivitas, begitu pula sebaliknya [21,22]. Dari Tabel 2 terlihat bahwa kitosan garam Li-asetat mempunyai energi aktivasi paling besar, hal ini diperkuat oleh data konduktivitas yang memperlihatkan bahwa sampel ini mempunyai nilai konduktivitas terendah.

Hasil pengukuran ion transfer number ( bilangan transfer ion) ditunjukkan pada Gambar 4. Sampel kitosan murni tidak dapat menghantarkan arus yang bersumber dari baterai 1,5V. Sedangkan sampel kitosan dan garam-garam *lithium* dapat menghantar arus yang mengalami penurunan seiring dengan waktu hingga mencapai nilai



**Gambar 4.** Konduktivitas ionik kitosan dengan berbagai jenis garam lithium sebagai fungsi suhu



**Gambar 5.** Bilangan transfer ion kitosan dan berbagai jenis garam lithium

saturasi. Arus yang mengalir merupakan gabungan arus kationik dan arus anionik. Dengan kata lain  $i_T = i_+ + i_-$  di mana  $i_+$  dan  $i_-$  masing-masing secara berurutan adalah arus yang disebabkan oleh kation dan anion. Ion akan bergerak menuju elektroda yang memiliki muatan berlawanan dengan ion tersebut. Arus ionik dipengaruhi oleh konsentrasi polarisasi, maka pada bilangan transfer kation (cationic transfer number),  $t_+$ , pada saat arus polarisasi mengalami saturasi dapat ekspresikan dengan persamaan (2) berikut [22].

$$t_x = \frac{i_{+\infty}}{i_T} \dots\dots\dots (2)$$

Dari Gambar 5 terlihat bahwa masing-masing garam litium memberikan bilangan transfer kationik yang beda-beda. Bilangan transfer terendah yaitu ~0,2 dimiliki oleh kitosan yang ditambah garam Li-Asetat, sedangkan nilai tertinggi dimiliki oleh film kitosan-LiPF<sub>6</sub> yaitu ~0,5. Bilangan transfer ion Li-Triflat yang diperoleh ~0,3 yang berarti bahwa sebagian besar spesies penghantar arus merupakan anion dari garam-garam litium.

## KESIMPULAN

Pola difraksi sinar-X kitosan memperlihatkan pengaruh penambahan berbagai jenis garam terhadap kristalinitas elektrolit polimer kitosan yang mengindikasikan terbentuknya senyawa kompleks kitosan-garam *lithium*. Hal ini diperkuat dengan spektrum *FT-IR*. Perubahan nilai konduktivitas terhadap berbagai jenis garam serta pengaruh suhu juga telah dianalisis secara kuantitatif. Konduktivitas mengalami peningkatan dengan semakin besar ukuran anion garam *lithium*. Secara keseluruhan konduktivitas juga mengalami peningkatan dengan kenaikan suhu karena kenaikan suhu meningkatkan mobilitas ion-ion di dalam matriks kitosan. Bilangan transfer kationik kitosan dengan garam-garam *lithium* juga meningkat seiring dengan makin besar ukuran anion garam *lithium* hingga mencapai nilai 0,5 yang diperoleh pada penambahan garam LiPF<sub>6</sub>.

## DAFTAR ACUAN

[1]. E. Kartini, M. Nakamura, M. Arai, Y. In-amura, K. Nakajima, T. Maksum, "Structure and dynamics of Solid Electro-lyte(LiI)<sub>0,3</sub>(LiPO<sub>3</sub>)<sub>0,7</sub>", *Solid State Ionics*, vol. 262 hal. 833-836, 1 September 2014.

[2]. Y. Wang, W.H. Zhong, "Development of Electrolytes towards Achieving Safe and High Performance Energy-Storage Devices : A Review", *ChemElectroChem Reviews*, hal. 1-16, 2014.

[3]. C.W Liew, S. Ramesh, "Electrical, Struc-tural, Thermal and Electrochemical Proper-ties of Corn Starch-Based Biopolymer Elec-trolytes", *Carbohydrate Polymers*, vol . 124 hal. 222-228, Februari 2015

[4]. K. Sownthari, S.A. Suthanthiraraj, Syn-thesis and Characterization of an Electrolyte System based on a Biodegradable Polymer", *Express Polymer Letter*, vol . 7 No.6 pp. 495-504, Februari 2013.

[5]. S.A.Mohammed, A.A. Al Ghamdi, G.D. Sharma, G.D. Sharma, M.K. El Mansy, Ef-fect of Ethylene Carbonate as a Plasticizer on CuI/PVA Nanocomposite: Structure, optical and Electrical Properties, *Journal of Advanced Research*, vol . 5 pp. 79-86, Januari 2013

[6]. E. Yulianti, R.D. Saputri, Sudaryanto, H. Jodi, R. Salam, "Pembuatan Bahan Polimer Elektrolit Padat Berbasis Nanokomposit Ki-tosan Monmorillonite untuk aplikasi Bat-erai". *Jurnal Kimia dan Kemasan*, vol . 35 No. 3 hal 77-83, 2013

[7]. M.R. Johan, O.H. Shy, S. Ibrahim. S.M.M Yassin, T.Y. Hui, "Effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofiller and EC Plasticizer on the Ionic Conductivity Enhancement of solid PEO-LiCF<sub>3</sub>SO<sub>3</sub> Solid Polymer Electrolyte", *Solid State Ionics*, vol . 196 No. pp. 41-47, June 2011

[8]. N.S.T. Do, D.M. Schaetzl, B. Day, A.C. Seabaugh, S.K. Fullerton-Shirey, "Influence of nanofiller shape on the Conductivity and Thermal Properties of Solid Polymer Electro-lytes: nanorods versus nanosphere", *The Journal of Physical Chemistry C*, vol . 116, Issue 40, pp. 21216-21223, 28 September 2012

[9]. C.Y. Tang, K. Hackenberg, Q. Fu, P.M. Ajayan, H. Ardebili, "High Ion Conducting Polymer Nanocomposites Electrolytes Using Hybrid Nanofillers", *Nano Letters*, vol . 12 No. 3 pp. 1152-1156, 27 Februari 2012.

[10]. H.J. Woo, S.R. Majid, A.K. Arof, "Effect of Ethylene Carbonate on Pro-ton conducting Polymer Electrolyte based on poly (-Caprolactone) (PCL)", *Solid State Ionics*, vol . 252 pp. 102-108, 7 Agustus 2013

[11]. H.J. Woo, C.W. Liew, S.R. Majid, A.K. Arof, "Poly (-Caprolactone) based Polymer Electrolyte for Electrical Double Layer Capacitors", *High Performance Polymers*, vol . 26 No.6 pp. 637-640, September 2014

[12]. E. Yulianti, Sudaryanto, H. Jodi, Deswita, Mashadi, "Li Ion Conducting Polymer based on Polyvinylidene Fluoride and Li-Triflate", *Jurnal Sains Materi Indonesia*, vol .15 No.1 hal. 24-28, Oktober 2013

[13]. C.W. Tang, B. Li, L. Sun, B. Lively, W.H. Zhong, "The Effects of Nano-fillers, stretching and recrystallization on Mi-crostructure, phase transformation, and Die-lectric Properties in PVDF nanocomposite", *European Polymer Journal*, vol . 48 pp.1062-1072, April 2012

[14]. N.N. Mobarak, A. Ahmad, M.P. Abdullah, N. Ramli, M.Y.A. Rahman, "Conductivity enhancement via chemical modification of chitosan based green

- polymer electrolyte". *Electrochimica Acta*, vol . 92 pp. 161-167, Januari 2013
- [15]. E. Yulianti, A. Karo Karo, L. Susita, Sudaryanto, "Synthesis of Electrolyte Polymer Based on Natural Polymer Chitosan by Ion Implantation Technique", *Procedia Chemistry*, vol . 4 hal 202-207, 2012
- [16]. M.F.Z. Kadir, Z. Aspanut, S.R. Majid, A.K. Arof, "FTIR Studies of Plasti-cized Poly(Vinyl Alcohol)-Chitosan Blend doped with  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  Polymer Electrolyte Membrane", *Spectrochimica Acta Part A*, vol . 78 No. 3, pp. 1068-1074, 2011
- [17]. A.A. El-Hefian, M.M. Nasef, A.H. Yahya, "Chitosan-Based Polymer Blends: Current Status and Applications", *Journal Chemical Society Pakistan*, vol . 36 No.1, Januari 2014
- [18]. R. Puteh, M.Z.A. Yahya, A.M.M. Ali, M.A. Sulaiman, R. Yahya, "Conductivity Studies on Chitosan Based on Polymer Electrolytes with Lithium Salts", *Indonesian Journal of Physics*, vol .16 No.1, pp.17-19, 2005
- [19]. S.R. Majid, R.C. Sabadini, J. Kanicki, A. Pawlicka, "Impedance Analysis of Gellan Gum-Poly(vinyl pyrrolidone) Membranes", *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, vol . 604 pp. 84-95, November 2014
- [20]. M.F. Shukur, Y.M. Yusof, S.M.M. Zawawi, H.A. Ilias, M.F.Z. Kadie, "Conductivity and Transport Studies of Plas-ticized Chitosan-based Proton Conducting Biopolymer Electrolytes", *Physica Scripta T*, vol 157 pp. 1-6, November 2013.
- [21]. T. Winie, S. Ramesh, A.K. Arof, "Studies on The Structure and Transport Properties of Hexanoyl Chitosan Based Polymer Electrolytes", *Physica B*, vol . 404 pp. 4308-4311, Agustus 2009
- [22]. Y.M. Yusof, N.A. Majid, R.M. Kasmani, H.A. Ilias, M.F.Z. Kadir, "The effect of Plasticization on Conductivity and Other Properties of Starch/Chitosan Blend Biopolymer Electrolyte Incorporated with Ammonium Iodide", *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, vol . 603 pp. 73-88, Desember 2014