

PENGARUH SILIKA TERHADAP MEMBRAN BLEND KITOSAN-POLIVINIL ALKOHOL-LITIUM SEBAGAI MEMBRAN ELEKTROLIT BATERAI ION LITIUM

Effect of Silica To The Blend Membrane of Chitosan-Polyvinyl Alcohol-Lithium As The Electrolyte Membrane of Lithium Ion Battery

*Riska Novitasari, Siang Tandi Gonggo dan Suherman

Pendidikan Kimia/FKIP - University of Tadulako, Palu - Indonesia 94118

Recieved 15 Desember 2015, Revised 17 Januari 2016, Accepted 17 Februari 2016

Abstract

Battery is one source of energy. Increasing the need of energy affects to the diminishing reserves of fossil energy sources. Therefore, this needs for energy sources alternative. Modification of chitosan-polyvinyl alcohol electrolyte membrane added with lithium salt has an advantage on environmentally friendly. This research aims to study the effect of adding percent weight of silica on the conductivity of the electrolyte polymers made from chitosan-polyvinyl alcohol-lithium. The ionic conductivity of the electrolyte polymer chitosan-polyvinyl alcohol-lithium-silica was measured by impedance spectroscopy. The results showed the electrolyte polymer with the addition of 5% silica performed the highest ionic conductivity by 2.005×10^{-7} S/cm. Characteristic of battery made from electrolyte polymer chitosan-polyvinyl alcohol-lithium with the addition of silica performed voltage of 1.5 Volts which was comparable to the commercial battery with the voltage of 1.8 Volts. These results indicate that silica can be used as a filler to improve the ionic conductivity.

Keywords: chitosan, polyvinyl alcohol, silica, lithium, electrolyte membrane.

Pendahuluan

Energi tidak akan lepas dari kebutuhan manusia. Kebutuhan energi yang semakin meningkat menyebabkan cadangan sumber energi fosil semakin menipis. Oleh karena itu, perlu adanya sumber energi alternatif. Hal inilah yang mendorong peneliti untuk mengembangkan beragam sumber energi di berbagai negara di dunia, salah satunya adalah membran elektrolit untuk aplikasi ion litium pada baterai.

Baterai merupakan sel elektrokimia yang menghasilkan tegangan konstan sebagai reaksi kimia (Minami, 2005). Energi listrik yang dihasilkan baterai dari perubahan energi kimia melalui reaksi redoks pada anoda dan katoda. Baterai merupakan sistem tertutup, pengubahan dan penyimpanan energi terjadi pada kompartemen yang sama (Rahmawati & Gonggo, 2013).

Baterai dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis yaitu baterai primer dan baterai sekunder.

Baterai primer merupakan baterai yang hanya digunakan satu kali contohnya baterai karbon-seng. Baterai sekunder dapat digunakan berkali-kali dengan mengisi kembali muatannya apabila telah habis energinya, contohnya baterai ion litium. Tahun 1990-an baterai ion litium pertama kali dipasarkan oleh Sony merupakan tipe paling umum sel sekunder dan dijumpai dalam hampir semua alat elektronik portabel. Baterai jenis ini mengalami 2 proses yang terjadi yaitu proses pengisian dan proses pengosongan. Baterai ini diharapkan mampu meminimalisasi permasalahan global yang lebih besar terkait dengan kebutuhan energi yang terus meningkat dan adanya tuntutan energi bersih.

Teknologi pemisahan berbasis teknologi membran pada saat ini semakin terlihat atraktif sebagai alternatif pengganti proses-proses pemisahan konvensional. Hal ini disebabkan karena pemisahan dengan membran memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan teknik pemisahan lainnya, yaitu: sederhana, murah karena pemisahan dilakukan pada suhu rendah, pori dapat dibuat sesuai penggunaannya. Teknologi membran telah banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang, diantaranya di bidang

*Korespondensi:

Riska Novitasari

Program Studi Pendidikan kimia, Fakultas Keguruan dan

Ilmu Pendidikan, Universitas Tadulako

email: riskanovitasari1993@gmail.com

© 2016 - Universitas Tadulako

industri kimia dan farmasi, bidang pengolahan limbah, dan teknologi lingkungan bidang pengolahan minyak. Hal ini membuktikan bahwa teknologi membran sangat dibutuhkan seiring dengan perkembangan teknologi. Namun perkembangan teknologi membran di Indonesia tidak secepat di negara lain. Hal ini disebabkan mahalnya material membran yang masih harus diimpor. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian untuk mencari bahan alternatif yang bisa digunakan sebagai material membran.

Membran kitosan yang dibuat dalam penelitian ini akan dimodifikasi dengan penambahan bahan pembentuk struktur semi interpenetrating polymer network (semi-IPN) yaitu poli vinil alkohol (PVA) karena sifat mekaniknya yang baik (Hassan & Peppas, 2000). Penambahan PVA dalam penelitian ini dimaksudkan untuk meningkatkan kekuatan membran kitosan. PVA merupakan salah satu polimer sintetik dengan keunggulan seperti hidrofilisitas dan kompatibilitas tidak toksis, kandungan air yang tinggi, sifat mekanik yang kuat, stabilitas kimia yang baik dibanding polimer sintetik lainnya dan biodegradable (Erizal, dkk., 2013). Pembuatan membran elektrolit yang didopingkan dengan garam litium dapat meningkatkan konduktivitas ionik. Polimer elektrolit yang mengandung garam litium cenderung akan mengkristal pada suhu kamar, sehingga untuk mengurangi potensi tersebut dilakukan penambahan zat aditif yaitu silika.

Silika adalah senyawa hasil polimerisasi asam silikat, yang tersusun dari rantai satuan SiO_4 tetrahedral dengan formula umum SiO_2 . Senyawa silika di alam ditemukan dalam beberapa bahan alam, seperti pasir, kuarsa, gelas, dan sebagainya. Silika sebagai senyawa yang terdapat di alam berstruktur kristalin, sedangkan sebagai senyawa sintesis adalah amorph. Secara sintesis senyawa silika dapat dibuat dari larutan silikat (Sulastri & Kristianingrum, 2010).

Tulisan ini bertujuan untuk menentukan konduktivitas membran elektrolit kitosan-polivinil alkohol-litium terhadap penambahan silika dan untuk mengetahui perbandingan voltase antara membran elektrolit kitosan-polivinil alkohol-litium-silika dengan baterai komersial.

Metode

Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam pembuatan

membran yaitu: gelas kimia, gelas ukur, pipet tetes, labu ukur, erlenmeyer, neraca analitik, cawan petri, spatula, pinset, aluminium foil, hot magnetic stirrer, dan oven. Alat yang digunakan analisis morfologi yaitu: mikrometer skrup, multimeter digital tipe 410, Fourier Transform Infra Red (FTIR) prestige 21 Shimadzu dan spektroskopi impedansi merek Egilent 4980A. Bahan yang digunakan meliputi Kitosan, padatan Polivinil Alkohol (Merck), padatan LiClO_4 (Sigma Aldrich), padatan silika fume (Sigma Aldrich), asam asetat (Merck), dan aquades.

Prosedur Penelitian

Pembuatan Membran Elektrolit Kitosan-Polivinil Alkohol-Litium dengan Penambahan Silika

Mula-mula dilarutkan kitosan sebanyak 40% berat dari berat kitosan + PVA dengan menggunakan asam asetat 1% sebanyak 50 mL. Campuran diaduk dengan menggunakan magnetic stirrer. Setelah itu PVA sebanyak 60% berat dari berat kitosan + PVA dilarutkan dengan menggunakan aquades sebanyak 30 mL dan dipanaskan dengan menggunakan hot magnetic stirrer secara pelan-pelan hingga suhu 90°C . Setelah keduanya larut, masing-masing larutan disaring kemudian dicampur dan diaduk kembali hingga kedua campuran homogen. Setelah campuran homogen ditambahkan litium sebanyak 2% berat dari berat total material membran ke dalam campuran tersebut dan dilarutkan kembali hingga semuanya homogen. Setelah itu ditambahkan silika sebanyak 1% berat dari berat total material membran ke dalam campuran dan dihomogenkan kembali. Setelah homogen, campuran dituang pada cawan petri untuk dioven selama 2 jam pada suhu 75°C , kemudian dikeringkan pada suhu kamar selama 2 minggu. Penambahan silika divariasikan komposisinya yaitu: 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%.

Karakterisasi Membran Elektrolit

Karakterisasi yang dilakukan terhadap membran adalah analisis gugus fungsi dan uji konduktivitas serta membandingkan nilai voltase baterai berbahan dasar elektrolit polimer dengan baterai komersial. Gugus fungsi ditentukan menggunakan FTIR (Fourier Transform Infrared). Sampel membran digerus

dengan zat KBr bebas air sehingga menjadi homogen. Kemudian dibuat pelet dengan melakukan pressure yang setara dengan 10 ton. Sedangkan konduktivitas membran ditentukan menggunakan spektroskopi impedansi.

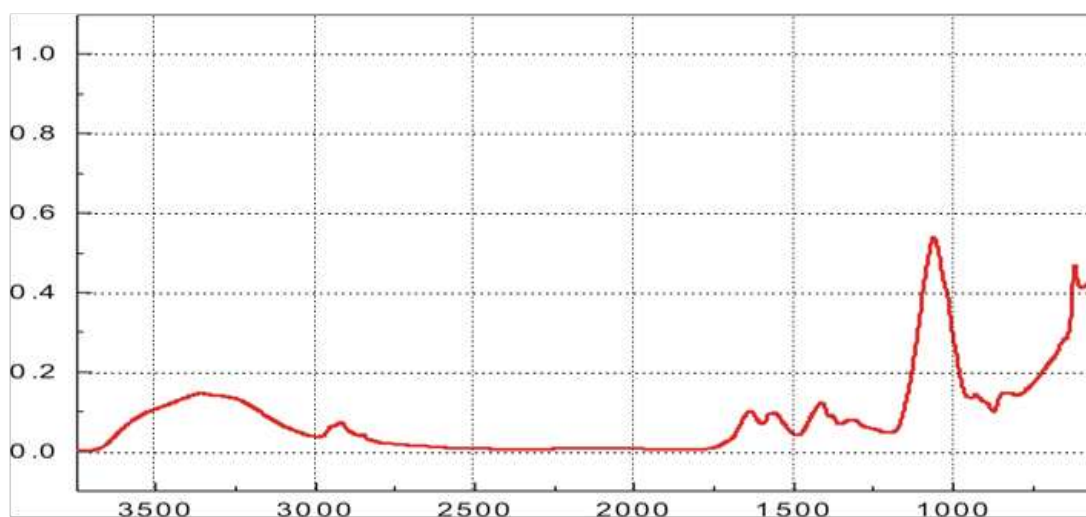
Uji Perbandingan Voltase antara Membran Elektrolit dengan Baterai Komersial.

Pengujian voltase membran elektrolit kitosan-PVA-Litium-silika, dilakukan dengan membuat baterai yang mengacu pada Subban, dkk. (1996). Teknik pembuatan baterai yang dilakukan adalah dengan memotong bahan polimer elektrolit kitosan-PVA-litium-silika menjadi ukuran 5 x 4 cm, yang selanjutnya diletakkan diantara katoda dan anoda. Elektroda yang digunakan dalam pembuatan baterai ini yakni Zink dan Karbon (grafit), dimana Zink bertindak sebagai katoda dan karbon (grafit) bertindak sebagai anoda.

Hasil dan Pembahasan

Analisis FTIR

Membran elektrolit yang disintesis adalah membran padat yang merupakan campuran dari kitosan-polivinil alkohol-litium-silika dengan menggunakan variasi 1, 2, 3, 4, dan 5% (w/w) dan tanpa penambahan silika sebagai sampel perbandingan. Hasil Spektrum FTIR pada Gambar 1 sampel menunjukkan beberapa pita-pita serapan inframerah yang beragam. Semua membran menunjukkan pita lebar pada daerah panjang gelombang 3000-3500 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus OH dan gugus NH_2 yang saling tumpang tindih. Serapan melebar pada daerah tersebut menunjukkan adanya ikatan hidrogen intermolekul dan intramolekul yang terbentuk dalam molekul-molekul yang mengandung gugus hidroksi ataupun gugus NH_2 tersebut. Gugus OH berasal dari senyawa polivinil alkohol dan gugus NH_2 berasal dari senyawa kitosan (Paradossi, dkk., 1996).



Gambar 1. Spektrum FTIR Membran Kit-PVA-Li

Baterai yang dibuat dari elektrolit polimer diukur dengan menggunakan multimeter digital. Baterai komersial yang digunakan dalam pengukuran ini menggunakan baterai merk ABC sebanyak 1 buah. Pengukuran baterai elektrolit polimer dilakukan dengan mengukur voltase baterai elektrolit polimer pada komposisi penambahan silika 1% - 5% dan tanpa penambahan silika (0% silika). Hasil ini dibandingkan dengan voltase pada baterai komersial (Mohamed, dkk., 1995).

Pita pada daerah panjang gelombang 3000-3500 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus-gugus alkil. Hal ini diperkuat oleh pita-pita pada daerah panjang gelombang antara 1400 dan 1350 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus metil (Sastrohamidjojo, 2007)

Pita serapan yang muncul pada daerah 1650-1600 cm^{-1} adalah pita serapan khas kitosan yang merupakan vibrasi tekuk dari NH yang menunjukkan keberadaan gugus NH_2 . Hal tersebut menunjukkan juga terjadinya interaksi antara polivinil alkohol dan kitosan (Marareza,

2014). Sedangkan Pita serapan antara 1400 cm^{-1} – 1450 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur C-N amina alifatik (Dinata, 2012)

Ion litium yang berinteraksi dengan gugus OH yang berasal dari polivinil alkohol dan gugus amida dari kitosan akan menyebabkan terjadi pengkelatan logam litium itu sendiri (Razak, dkk., 2008). Spektrum FTIR pada daerah sidik jari yaitu senyawa silika yang umumnya diketahui memiliki puncak yang khas dan kuat antara bilangan gelombang 1600 - 1500 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus fungsi Si-O-Si, adanya gugus fungsi Si-O-Si diperkuat dengan adanya puncak pada bilangan gelombang sekitar 800 cm^{-1} yang menunjukkan adanya Si-O (Mohamed, dkk., 1995) Selain itu, pita serapan yang tampak pada daerah sidik jari disebabkan adanya getaran dari SiO_2 .

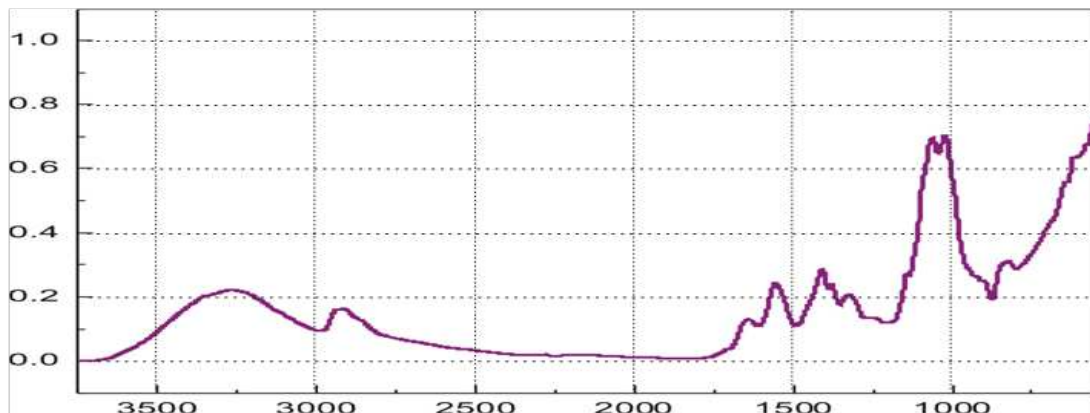
Adanya gugus OH dalam spektrum ini seperti halnya alkohol alifatik diperkuat dengan munculnya pita tajam antara 1200-1000 cm^{-1} yang merupakan karakteristik untuk gugus SiO. Hal ini dapat dilihat pada sampel tanpa penambahan silika dan dengan penambahan silika 1-5% dengan munculnya satu pita tajam pada sampel tanpa penambahan silika dan membentuk dua pita serapan pada 1-5% silika.

5% yaitu $6,795 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$, $8,278 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$, $12,6903 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$, dan $20,049 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$. Penambahan silika sebagai filler anorganik dapat meningkatkan konduktivitas dari membran elektrolit itu sendiri

Tabel 1. Data Konduktivitas Membran Elektrolit Kitosan-Polivinil Alkohol-Litium-Silika

No	% berat penambahan silika terhadap membran elektrolit	R (ohm)	Konduktivitas
1	Silika 1%	$8,760 \times 10^{11}$	$6,795 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$
2	Silika 2%	$5,207 \times 10^9$	$8,278 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$
3	Silika 3%	$2,098 \times 10^{10}$	$2,837 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$
4	Silika 4%	$2,869 \times 10^9$	$12,690 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$
5	Silika 5%	$2,672 \times 10^9$	$20,049 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$

Peningkatan nilai konduktivitas pada penelitian ini dikarenakan makin tingginya jumlah ion dan mobilitas dari ion-ion yang ada dalam membran elektrolit polimer tersebut. Peningkatan konduktivitas dengan adanya SiO_2 disebabkan oleh SiO_2 dapat menjadi mobilitas ion Li^+ dalam mobilitasnya melalui ikatan Si-O-Li dalam matriks polimer. Selain itu, adanya gugus OH dari polivinil alkohol dan gugus NH_2 dari kitosan dapat menyebabkan



Gambar 2. Spektrum FTIR Membran Kit-PVA-Li-Silika 5%

Analisis Konduktivitas

Data pada Tabel 1 menunjukkan penambahan silika sebagai filler dalam membran elektrolit kitosan-polivinil alkohol-litium memiliki konduktivitas yang beragam. Nilai konduktivitas tertinggi adalah pada penambahan silika 5% (w/w) yaitu sebesar $20,049 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$. Sedangkan pada penambahan silika 3% (w/w) mengalami penurunan yaitu $2,837 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$ dan mengalami kenaikan secara berturut-turut pada penambahan silika 1%, 2%, 4%, dan

membran polimer elektrolit memiliki hantaran yang baik.

Penurunan nilai konduktivitas pada penambahan 3% silika disebabkan karena dimungkinkan pada saat pembuatan membran campuran dari Kitosan-Polivinil alkohol-litium-silika belum tercampur secara merata sehingga membran yang dihasilkan kurang baik. Hal ini juga dibuktikan dengan melihat gugus fungsi pada penambaham ini serapan pada panjang gelombang 3000-3500 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus hidroksi

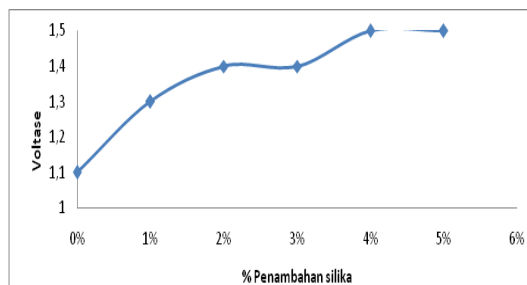
terjadi pergeseran pada puncak spektrum karena adanya gugus fungsi dari senyawa lain yang masuk atau disebut juga sebagai gugus fungsi yang mengganggu. Kesalahan yang terjadi diperkuat dengan nilai voltase yang dihasilkan. Nilai voltase pada penambahan 1-5% silika mengalami peningkatan secara terus menerus dan dengan kata lain pada penambahan 3% silika tidak mengalami penurunan seperti hasil yang diperoleh pada nilai konduktivitas.

Peningkatan konduktivitas yang disertai adanya ion litium disebabkan litium merupakan unsur logam paling ringan dan memiliki potensial redoks sangat rendah ($E(\text{Li}^+/\text{Li}) = -3,04 \text{ V}$), yang memungkinkan sel memiliki tegangan tinggi dan densitas energi besar. Selain itu, ion Li^+ memiliki jari-jari ion kecil yang menguntungkan untuk difusi dalam padatan dan dalam hal ini merupakan membran elektrolit polimer (Marareza, 2014)

Berdasarkan data konduktivitas yang diperoleh di atas, untuk membran elektrolit penambahan silika dengan variasi 4% dan 5% telah memenuhi standar untuk dijadikan suatu baterai. Nilai konduktivitas membran elektrolit penambahan silika 4% yaitu $1,269 \times 10^{-7} \text{ S/cm}$ dan pada penambahan silika 5% yaitu $2,005 \times 10^{-7} \text{ S/cm}$. Hal ini mengacu pada pendapat Linden (2002) bahwa standar konduktivitas suatu membran polimer yang diaplikasikan dalam suatu baterai adalah $10^{-7} \text{ S/cm} - 10^{-3} \text{ S/cm}$.

Analisis Uji Perbandingan Voltase Antara Baterai Berbahan Dasar Elektrolit Polimer Dengan Baterai Komersial

Hasil pengujian voltase antara baterai berbahan dasar elektrolit polimer dengan baterai komersial dalam bentuk grafik disajikan dalam Gambar 3. Baterai yang dibuat dari elektrolit polimer kitosan-polivinil alkohol-litium membran dengan penambahan silika 5% memiliki nilai konduktivitas tertinggi yaitu $20,049 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$. Pengujian voltase dilakukan pada rangkaian terbuka, dimana pada baterai berbahan dasar polimer elektrolit tanpa penambahan silika (0%) memiliki nilai voltase yang sangat kecil yaitu 1,1 Volt sedangkan pada penambahan silika 1, 2, 3, 4, 5% berat memiliki nilai voltase yang cenderung meningkat seiring dengan penambahan silika. Dimana voltase mengalami peningkatan berturut-turut sebesar 1,3 Volt, 1,4 Volt, 1,4 Volt, 1,5 Volt dan 1,5 Volt.



Gambar 3. Grafik hubungan % berat penambahan silika terhadap nilai voltase baterai elektrolit kitosan-polivinil alkohol-litium.

Voltase tertinggi yang digunakan yakni pada persen berat penambahan silika 4% dan 5% senilai 1,5 Volt. Tetapnya nilai voltase dari 4% ke 5% disebabkan karena pembuatan baterai masih dilakukan secara manual sehingga kerapatan elektrolit polimer baterai masih belum baik (Lateene, 2014). Linden (2002) menyampaikan bahwa desain dari baterai dapat mempengaruhi nilai dari tegangan serta arus baterai. Tetapi baterai dengan polimer elektrolit memiliki kelebihan, yaitu bersifat ramah lingkungan dan fleksibel.

Nilai tegangan yang dimiliki baterai berbahan dasar polimer dengan penambahan silika tidak berbeda jauh dengan nilai tegangan yang dimiliki baterai komersial pada umumnya yaitu sebesar 1,8 Volt. Berdasarkan karakteristik ini baterai berbahan dasar elektrolit polimer dapat diaplikasikan sebagai baterai (Riyanto, dkk., 2011).

Baterai berbahan dasar polimer elektrolit yang ditambahkan dengan garam litium memiliki mekanisme kerja, dimana ketika anoda dan katoda terhubung maka elektron akan mengalir dari anoda menuju katoda melalui sirkuit luar. Pada kondisi ini listrik pun akan mulai mengalir. Dibagian dalam baterai terjadi sebuah proses pelepasan ion litium pada anoda, kemudian ion tersebut akan berpindah menuju katoda melalui elektrolit (Mihai, 2012)

Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil penelitian menunjukkan bahwa membran blend kitosan-PVA-SiO₂-Li telah dikarakterisasi. Spektrum FTIR menunjukkan bahwa senyawa blend kitosan-PVA-SiO₂-Li merupakan kombinasi senyawa blend kitosan, PVA dan SiO₂. Hasil analisis Spektroskopi Impedansi juga menunjukkan bahwa dengan penambahan SiO₂ kedalam blend kitosan-PVA secara umum meningkat sebesar 1%. Demikian juga hasil pengukuran Voltase meningkat dengan

meningkatkan SiO_2 dalam blend kitosan-PVA- SiO_2 -Li.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis berikan kepada laboran Laboratorium Kimia Lanjut FKIP Universitas Tadulako dan dana hibah Fundamental yang banyak membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini. Ucapan terima kasih penulis juga berikan kepada Siti Rahmawati yang telah menginterpretasikan data FTIR dan Impedansi.

Referensi

- Dinata, M. (2012). *Sintesis kitosan bead terikat silang asam sulfat untuk menurunkan kadar zat warna yellow IRK*. Skripsi pada Universitas Negeri Semarang, Tidak diterbitkan.
- Erizal, Perkasa D.P, Aziz S, & Sulistioso, G. S. (2013). Modifikasi fisika kimia membran komposit kitosan polivinil alkohol hasil casting dengan teknik induksi iradiasi gamma. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 14(3), 166-172.
- Hassan, C. M., & Peppas, N. A. (2000). Structure and application of polyvinyl alcohol hydrogel produced by conventional crosslinking or by freezing/thawing methods. *Adven Polym Science*, 15(3), 37-38.
- Lateene, R. (2014). *Pengaruh kaolin terhadap membran blend kitosan-polivinil alkohol-litium sebagai membran elektrolit untuk aplikasi baterai ion litium*. Skripsi S1 Program Sarjana Universitas Tadulako, Palu.
- Linden, D. (2002). *Primary batteries-introduction handbook of batteries 3Ed*. USA: The McGraw-Hill Companies.
- Marareza, H. (2014). *Pengaruh bentonit terhadap membran blend kitosan-polivinil alkohol-litium sebagai membran elektrolit untuk aplikasi baterai ion litium*. Skripsi S1 Program Sarjana Universitas Tadulako, Palu.
- Mihai, C. (2012). *Baterai litium*. Diunduh kembali dari <http://elkimkor.com/2012/07/27/baterai-lithium>.
- Minami, T. (2005). *Solid state ionics for batteries*. Japan: President, Osaka Prefecture University Gakuen-cho Sakai- Osaka.
- Mohamed, N. S., Subban, R. H. Y., & Arof, A. K. (1995). Polymer batteries fabricated from lithium complexed acetylated chitosan. *Journal of Power Sources*, 56(2), 153-156.
- Paradossi, G., Lisi, R., Paci, M., & Crescenzi, V. (1996). New hydrogels based on polyvinyl alcohol. *Journal of Polymer Science: Part A, Polymer, Chemistry*, 34, 3417-3495.
- Rahmawati, S., & Gonggo, S. T. (2013). Sintesis membran elektrolit kitosan untuk aplikasi ion litium. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Matematika II.C-07*.
- Razak, T., Winie, F. S. A., Ghani, & Ahmad. (2008). Conductivity and FTIR studies on PVA/chitosan-LiCF₃SO₃. *Solid State Science and Technology*, 16(1), 1-7.
- Riyanto, B., Maddu, A., & Dewi, R. S. (2011). Baterai cerdas dari elektrolit polimer kitosan-PVA dengan penambahan amonium nitrat. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 16(2), 70-77.
- Sastrohamidjojo, H. (2007). *Spektroskopi*. Yogyakarta: Liberty.
- Subban, R. H. Y., Arof, K., & Radhakrishna, S. (1996). Polymer batteries with chitosan electrolyte mixed with sodium perchlorate. *Material Science and Engineering*, B38, 156-160.
- Sulastri, S., & Kristianingrum, S. (2010). Berbagai macam senyawa silika: Sintesis, karakterisasi dan pemanfaatan. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian*, 211-216.