

SINTESIS SELULOSA ASETAT DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DAN SIFATNYA SEBAGAI MEMBRAN POLIMER ELEKTROLIT PADA BATERAI ION LITIUUM

SYNTHESIS OF CELLULOSE ACETATE FROM OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH AND ITS PROPERTIES AS POLYMER ELECTROLYTE MEMBRANES ON LITHIUM ION BATTERY

Nurhadini¹, I Made Arcana²

¹Program Studi Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung, Kepulauan Bangka Belitung, Indonesia

²Divisi Penelitian Kimia Anorganik dan Fisik, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

*Corresponding Author : nurhadini88@gmail.com

Submitted : 30 Maret 2018

Accepted : 19 Mei 2018

ABSTRACT

Biodegradable polymer electrolyte utilization on lithium ion battery is increasingly considered to prevent any waste. This study was conducted to synthesis cellulose acetate from oil palm empty fruit bunch and its properties as polymer electrolyte membranes on lithium ion battery. This study was done by extracting cellulose from oil palm empty fruit bunch. That cellulose can be modified into cellulose acetate, then cellulose acetate is characterized its fuctional group. Further, polymer electrolyte was synthesized with composition 25/60/15(%b/b) (SAS/PEO/LiClO₄). The properties of polymer electrolyte membranes were characterized by analysis thermal properties, ionic conductivity and mechanical properties. Based on functional group data, synthetic cellulose acetate had similar main functional groups with commercial cellulose acetate. Synthetic cellulose acetate contained 27% acetyl with 1,4 substitution degree. Analysis thermal properties showed that the decomposition of SAS/PEO/LiClO₄ polymer electrolyte membranes was started above 260°C. The ionic conductivity 10,81 x 10⁻⁴ S/cm of these polymer electrolyte membranes was 10,81 x 10⁻⁴ S/cm. Analysis of mechanic properties were 0,05 MPa stress, 14,23 MPa elongation and 0,35 MPa Modulus Young. SAS/PEO/LiClO₄ polymer electrolyte membranes had higher ionic conductivity than SAK/PEO/LiClO₄ polymer electrolyte membranes. However, SAS/PEO/LiClO₄ polymer electrolyte membranes had lower thermal and mechanic properties than SAK/PEO/LiClO₄ polymer electrolyte membranes.

Keywords: *oil palm empty fruit bunch, polymer electrolyte membranes, lithium ion battery*

PENDAHULUAN

Jumlah produksi tanaman kelapa sawit Indonesia tahun 2016 diperkirakan mencapai 33 juta ton yang mengalami peningkatan setiap tahun [1]. Pada tanaman kelapa sawit menghasilkan sebanyak 23% limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) per ton[2]. Produk hasil pengolahan limbah tandan kosong kelapa sawit kompos yaitu kompos, bio-oil, bioetanol, campuran beton dan bioplastik[3,4,5,6,7]. Selain itu pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit yang dapat dikembangkan lebih lanjut yaitu TKKS diolah menjadi membran polimer elektrolit. Hal

ini dikarenakan kandungan utama tandan kosong kelapa sawit adalah selulosa sebesar 45% yang dapat disintesis menjadi selulosa asetat.

Polimer elektrolit merupakan salah satu komponen pada baterai ion litium. Penggunaan material polimer yang mudah terdegradasi di alam sebagai polimer elektrolit semakin dipertimbangkan untuk mencegah adanya limbah[8]. Pada umumnya polimer host yang digunakan untuk polimer elektrolit adalah PEO yang didopan dengan berbagai garam litium. PEO yang didopan dengan 15% LiClO₄ memiliki konduktivitas sebesar 3,53 x 10⁻⁵ S cm⁻¹ [9].

Penambahan selulosa asetat pada PEO yang didopan dengan garam litium diharapkan dapat meningkatkan sifat membran polimer elektrolit untuk diaplikasikan pada baterai ion litium. Selain itu selulosa asetat merupakan polimer yang dapat terdegradasi dengan baik di alam.

Selulosa asetat dapat disintesis dari selulosa alam melalui reaksi asetilasi [10]. Pembuatan selulosa asetat dari selulosa tandan kosong kelapa sawit dapat berbentuk selulosa monoasetat, diasetat dan triasetat [11]. Polimer elektrolit dari selulosa asetat komersil yang didopan dengan 16% LiClO_4 memiliki konduktivitas $4,9 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$. Selulosa asetat hasil sintesis yang berasal selulosa daun pandan duri yang didopan dengan 25% LiCl memiliki konduktivitas $3,78 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ [10,11]. Selulosa asetat komersil yang diblend dengan PEO yang didopan dengan LiClO_4 dengan komposisi yang bervariasi menunjukkan bahwa komposisi dengan konduktivitas maksimum yaitu 25/60/15 (selulosa asetat/PEO/ LiClO_4) [12].

Pada penelitian ini, selulosa asetat disintesis dari ekstrak selulosa tandan kosong kelapa sawit menggunakan reaksi asetilasi. Selulosa asetat hasil sintesis akan dikarakterisasi dengan FTIR dan dibandingkan dengan selulosa asetat komersil. Selanjutnya selulosa asetat hasil sintesis dicampur dengan PEO yang didopan dengan litium perklorat dan dikarakterisasi sifat mekanik, termal dan konduktivitasnya untuk mengetahui potensinya yang akan diaplikasikan pada baterai ion litium.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tandan kosong kelapa sawit, aqua dm, poli(etilen oksida), etanol, natrium hidroksida, asam asetat glasial, asam asetat anhidrida, asam klorida, asam sulfat, kloroform, natrium hipoklorit, metanol, dan LiClO_4 . Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas yang meliputi batang pengaduk, bola hisap karet, cawan petri, corong, erlenmeyer, gelas kimia, gelas ukur, gunting, kondensor, labu leher tiga, labu ukur, pengaduk magnet, pipet tetes, pipet ukur, spatula, tabung reaksi dan termometer. Selain itu penelitian ini menggunakan timbangan analitis *DENVER Instrument Company*, *hotplate stirrer THERMOLYNE*, oven vakum *VWR Scientific Product*, LCR meter Agilent E4980A, Spektroskopi Infra Merah Alpha FT-IR *Spectrometer*, Spektroskopi Infra Merah Shimadzu Prestige 21 dan *Tensile tester* merek

Textechno 41066, serta *Thermogravimetri Analysis* (TGA) merek NETZSCH STA 449.

Metode

Ekstraksi Selulosa

Tandan kosong kelapa sawit dibersihkan dan dikeringkan di bawah sinar matahari, setelah itu digiling sehingga diperoleh sampel berbentuk serat. Tandan kosong sawit yang digiling tersebut sebanyak 25 gram dimasukkan ke dalam labu leher tiga dan ditambahkan NaOH 2% (w/v). Campuran tersebut direfluks pada suhu 90°C selama 3 jam, kemudian campuran disaring dan dilakukan uji lignin. Filtrat direaksikan dengan H_2SO_4 72% (v/v) dan jika hasilnya masih terdapat gumpalan pada filtrat, residu dilarutkan kembali dalam larutan NaOH 2% (w/v) dan campuran tersebut direfluks kembali pada suhu 90°C selama 1 jam hingga bebas lignin.

Selanjutnya selulosa setelah bebas dari lignin dilakukan tahap pemutihan dengan merefluks residu selama 1 jam dalam larutan NaOCl 1% dan ditambahkan 1 g NaOH dengan perbandingan 100:1 (v/b) pada suhu 70°C . Setelah itu campuran disaring dan residu direndam dalam 100 mL larutan NaOH 17,5% (w/w) selama 30 menit. Campuran disaring kembali dan dicuci dengan aqua hingga pH netral. Pencucian dilanjutkan dengan menggunakan etanol. Residu dikeringkan menggunakan oven vakum. Setelah dikeringkan, selulosa didinginkan dalam desikator kemudian ditimbang sampai massanya konstan.

Sintesis Selulosa Asetat

Selulosa hasil isolasi sebanyak 2 g dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL dan direaksikan dengan 25 mL asam asetat glasial selama 1 jam pada suhu kamar dengan pengadukan kontinu sehingga didapat selulosa teraktivasi. Dalam gelas kimia terpisah disiapkan 15 mL asam asetat anhidrida dan 3 tetes asam sulfat pekat yang suhunya dijaga pada suhu 0°C . Selanjutnya campuran kedua ditambahkan ke dalam campuran pertama dan diaduk selama 3 jam pada suhu 40°C . Reaksi kemudian dilanjutkan selama 20 jam pada suhu kamar. Selanjutnya sebanyak 25 mL asam asetat glasial 60% ditambahkan tetes demi tetes, kemudian disaring dengan penyaring vakum. Filtrat yang didapat ditetesi dengan sejumlah aqua dm sehingga terbentuk endapan polimer berwarna putih. Endapan putih tersebut disaring dan dinetralkan dengan aqua dm. Selulosa asetat yang diperoleh dikeringkan pada oven vakum pada

suhu 40 °C. Selulosa asetat yang diperoleh ditimbang kemudian dilakukan identifikasi gugus fungsi dengan ATR dan penentuan kandungan asetil dengan metode titrasi. Pengukuran kadar asetil berdasarkan metode Filho dkk (2008)[13] dan derajat substitusi berdasarkan metode Samios dkk, (1997)[14].

Sintesis Membran Polimer Elektrolit

Membran polimer elektrolit dibuat dengan mencampurkan larutan selulosa asetat dan PEO dalam kloroform dan LiClO₄ dalam metanol. Campuran tersebut diaduk selama 48 jam. Larutan selulosa asetat/PEO/LiClO₄ dibuat dengan komposisi yaitu 25/60/15(%b/b). Membran polimer elektrolit dibuat dengan teknik casting dalam plat/wadah Teflon. Kemudian pelarutnya diuapkan pada temperatur kamar dan diikuti dengan pengeringan pada oven vakum sehingga terbentuk lapisan tipis polimer elektrolit [12]. Selanjutnya membran polimer elektrolit yang terbentuk dilakukan karakterisasi yaitu analisis konduktivitas ionik, sifat mekanik dan sifat termal.

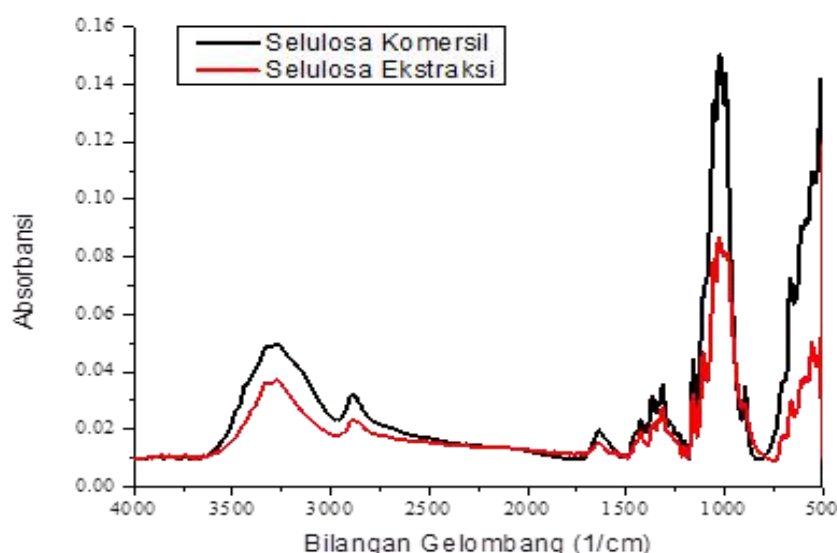
HASIL DAN PEMBAHASAN

Ekstraksi Selulosa

Ekstraksi selulosa dari tandan kosong kelapa sawit dilakukan melalui proses

penghilangan hemiselulosa dan lignin. Tahapan tersebut meliputi proses delignifikasi yaitu proses penghilangan hemiselulosa dan lignin yang dilakukan dengan mereaksikan tandan kosong kelapa sawit dengan larutan 2% NaOH. Larutan NaOH dapat menghilangkan sebagian dari lignin dikarenakan lignin larut dalam larutan alkali. Hal ini dapat diketahui karena terjadi pengurangan warna dari tandan kosong sawit [15,16]. Selanjutnya proses pemutihan dilakukan dengan NaOCl (natrium hipoklorit) untuk menghilangkan sisa hemiselulosa dan lignin. Pada proses ini warna tandan kosong sawit yang semula berwarna coklat menjadi berwarna putih dan juga terjadi perubahan secara fisik, awalnya berbentuk serat menjadi berbentuk seperti bubuk kertas. Kemurnian selulosa dapat diketahui melalui uji kelarutan dengan NaOH 17,5% dimana selulosa tersebut tidak larut dalam larutan tersebut. Oleh karena itu pada proses ekstraksi diambil selulosa yang tidak larut dalam NaOH 17,5%.

Rendemen selulosa hasil ekstraksi diperoleh 30,1 % per 25 gram tandan kosong kelapa sawit. Selulosa hasil ekstraksi dan selulosa komersil dikarakterisasi menggunakan spektroskopi inframerah. Spektrum IR dari selulosa selulosa hasil ekstraksi dan selulosa komersil dapat dilihat pada Gambar 1.



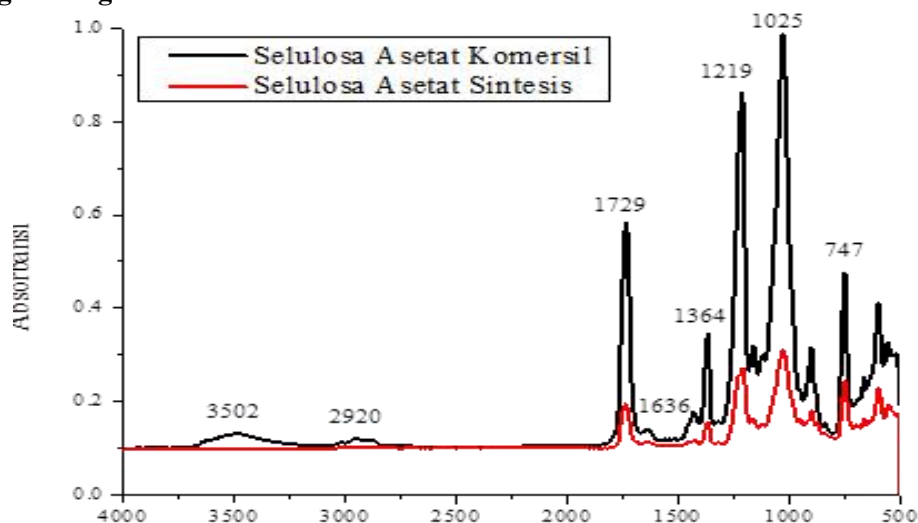
Gambar 1. Spektra infra merah selulosa komersil dan selulosa hasil sintesis

Gambar 1 menunjukkan bahwa secara umum pola serapan selulosa komersil dan selulosa hasil ekstraksi tidak jauh berbeda walaupun terdapat

perbedaan pada intensitas serapan. Pita serapan pada bilangan gelombang 1022 cm⁻¹ merupakan pita serapan dari vibrasi regangan C-O dan

bilangan gelombang 2895 cm^{-1} merupakan vibrasi regangan gugus C-H. Selain itu terlihat pita serapan pada bilangan gelombang 3300 cm^{-1} yang merupakan pita serapan dari vibrasi O-H yang berasal dari selulosa [17,18] Oleh karena itu dapat diketahui bahwa sampel yang diekstraksi adalah selulosa dan sebagian besar dari lignin dan hemiselulosa telah dihilangkan melalui proses ekstraksi selulosa.

Sifat Selulosa Asetat Sintesis/Poli(etilen oksida/LiClO₄ Sebagai Membran Polimer Elektrolit Pada Baterai Ion Litium Analisis Gugus Fungsi



Gambar 2. Spektra infra merah selulosa asetat komersil dan sintesis

Gambar 2. terlihat pola serapan antara selulosa asetat komersil dan selulosa asetat sintesis tidak jauh berbeda. Karakteristik pita serapan untuk selulosa asetat adalah vibrasi regangan gugus C=O dari ester pada bilangan gelombang 1729 cm^{-1} . Selain itu terdapat pita serapan pada bilangan gelombang 1025 cm^{-1} yang merupakan vibrasi regangan gugus C-O dari alkohol primer. Pita serapan pada 1636 cm^{-1} merupakan vibrasi tekuk dari molekul air yang dikonfirmasi dengan adanya pita serapan pada bilangan 3502 cm^{-1} yang merupakan vibrasi O-H sedangkan pita serapan pada 2920 cm^{-1} merupakan vibrasi regangan C-H dari CH₂ atau CH₃. Selain itu pita serapan pada 1219 cm^{-1} merupakan vibrasi regangan C-O dari gugus asetil dan pita serapan pada 1364 cm^{-1} merupakan deformasi C-H [18]. Spektra infra merah pada gambar 3 untuk selulosa asetat hasil sintesis dan selulosa asetat komersil hampir sama, hanya intensitasnya berbeda sehingga berdasarkan data gugus

Selulosa hasil ekstraksi yang telah dikonfirmasi melalui spektroskopi IR selanjutnya disintesis menjadi selulosa asetat. Selulosa asetat yang disintesis memiliki kandungan asetil sekitar 27% dengan derajat substitusi (DS) sebesar 1,4. Selulosa asetat ini termasuk selulosa monoasetat. Pada selulosa asetat komersil memiliki kandungan asetil sekitar 45% dengan derajat substitusi (DS) sebesar 3 dan selulosa asetat ini termasuk selulosa triasetat. Selulosa asetat sintesis memiliki kandungan asetil 27%. Gambar 2 merupakan spektra selulosa asetat komersil dan sintesis.

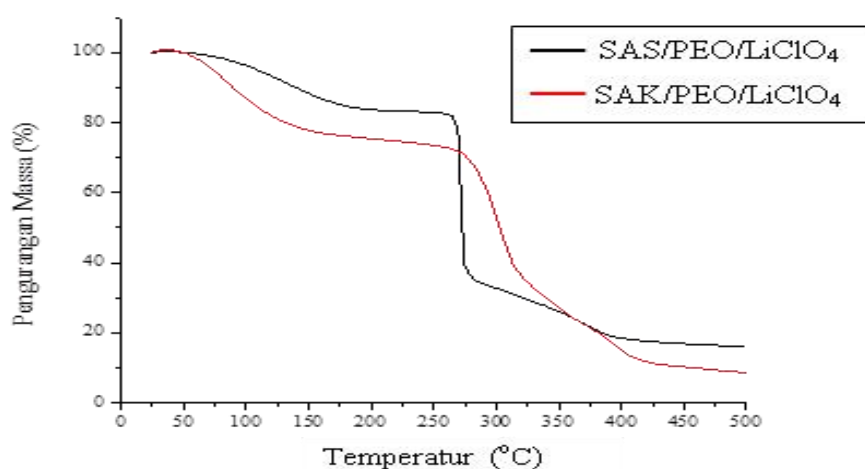
fungsinya selulosa asetat telah berhasil disintesis dari selulosa hasil ekstraksi.

Analisis Termal

Gambar 3 merupakan termogram polimer elektrolit dari selulosa asetat sintesis (SAS/PEO/LiClO₄) dan selulosa asetat komersil (SAK/PEO/LiClO₄). Termogram ini menggambarkan dekomposisi polimer elektrolit. Gambar 3 menunjukkan bahwa membran polimer elektrolit dari SAK/PEO/LiClO₄ mulai terdekomposisi pada temperatur di atas temperatur $270\text{ }^{\circ}\text{C}$ sedangkan membran polimer elektrolit dari SAS/PEO/LiClO₄ mulai terdekomposisi pada temperatur di atas temperatur $260\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pada temperatur antara $24\text{--}260\text{ }^{\circ}\text{C}$, membran polimer elektrolit dari SAS/PEO/LiClO₄ memiliki persentase pengurangan massa lebih kecil dibandingkan membran polimer elektrolit dari SAK/PEO/LiClO₄. Hal ini disebabkan oleh pelepasan pelarut yang teradsorpsi dalam membran. Molekul elarut (volume) yang

teradsorpsi pada membran SAK/PEO/LiClO₄ lebih besar dibandingkan membran SAS/PEO/LiClO₄ disebabkan karena SAK (triasetat) memiliki derajat substitusi lebih besar dibandingkan SAS (monoasetat) sehingga struktur rantai SAK lebih longgar dan akibatnya dapat mengadsorpsi volume pelarut lebih besar. Pada membran polimer elektrolit dari SAS/PEO/LiClO₄ terjadi pengurangan massa membran sekitar 18-42% pada temperatur transisi antara 260-275 °C. Sedangkan pada membran polimer elektrolit dari SAK/PEO/LiClO₄ terjadi pengurangan massa sekitar 29-40% pada temperatur antara 274-324 °C dengan laju

kehilangan massa lebih lambat dibandingkan pada membran SAS/PEO/LiClO₄. Pengurangan massa tersebut diakibatkan oleh terdekomposisinya selulosa asetat dan lepasnya gugus asetat pada selulosa asetat. Hal ini dikarenakan SAK/PEO/LiClO₄ merupakan selulosa triasetat yang memiliki gugus asetat yang lebih banyak dibandingkan SAS/PEO/LiClO₄ yang merupakan selulosa monoasetat. Pada temperatur antara 276-425 °C terjadi degradasi poli(etilen oksida) dan sisa selulosa, sedangkan pada temperatur di atas 425 °C adalah sisa dari membran polimer elektrolit.



Gambar 3. Termogram membran polimer elektrolit
 Keterangan : SAK : Selulosa Asetat Komersil; SAS : Selulosa Asetat Sintesis

Analisis Konduktivitas Ionik dan Mekanik

Analisis konduktivitas dan mekanik merupakan analisis yang penting dalam karakteristik baterai ion litium. Tabel 1 menunjukkan nilai konduktivitas ionik membran polimer elektrolit dari selulosa asetat komersil lebih rendah selulosa asetat hasil sintesis. Selulosa asetat komersil merupakan selulosa triasetat yang memiliki gugus asetil yang lebih banyak dibandingkan dengan selulosa asetat sintesis (selulosa monoasetat). Gugus fungsi asetil yang terikat pada polimer selulosa asetat dapat mempengaruhi ruang gerak polimer dalam menghantarkan ion Li⁺. Polimer selulosa

monoasetat memiliki ruang gerak yang lebih kecil dibandingkan dengan polimer selulosa triasetat. Hal ini menyebabkan selulosa triasetat memiliki nilai konduktivitas lebih besar dibandingkan dengan selulosa monoasetat. Namun pada penelitian ini diperoleh nilai konduktivitas selulosa monoasetat (sintesis) lebih besar dibandingkan dengan selulosa triasetat (komersil). Hal ini mengindikasikan bahwa selulosa asetat sintesis memiliki struktur yang lebih amorf dibandingkan dengan selulosa asetat komersil sehingga lebih mudah menghantarkan ion Li⁺. [11]

Tabel 1. Nilai konduktivitas dan sifat mekanik membran polimer elektrolit

Komposisi (25/60/15)	Konduktivitas ionik (S/cm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)	Modulus Young (MPa)
SAK/PEO/LiClO ₄	5,71 x 10 ⁻⁴	0,09	16,83	0,53
SAS/PEO/LiClO ₄	10,81 x 10 ⁻⁴	0,05	14,23	0,35

Data sifat mekanik pada tabel 1 menunjukkan bahwa membran polimer elektrolit dari SAS/PEO/LiClO₄ memiliki kekuatan mekanik, perpanjangan dan Modulus Young yang lebih besar dibandingkan membran polimer elektrolit dari SAS/PEO/LiClO₄. Hal ini mengindikasikan bahwa pada campuran selulosa komersil memiliki interaksi yang lebih banyak dibandingkan campuran selulosa asetat hasil sintesis pada antar gugus fungsi dalam polimer ataupun antar rantai polimer. Interaksi tersebut dapat berupa interaksi hidrogen dan interaksi dipol-dipol. Interaksi hidrogen atau dipol-dipol yang lebih banyak mengakibatkan interaksi antar rantai polimer menjadi lebih kuat yang mengakibatkan sifat mekanik yang lebih besar [19]. Hal ini juga didukung dengan dengan nilai regangan yang berbanding lurus dengan nilai tegangan dan Modulus Young. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa membran polimer elektrolit campuran selulosa asetat komersil mempunyai sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan campuran selulosa asetat hasil sintesis.

KESIMPULAN

Selulosa asetat dari tandan kosong kelapa sawit disintesis dengan melakukan proses asetilasi pada ekstrak selulosa tandan kosong kelapa sawit. Hasil karakterisasi IR menunjukkan bahwa gugus fungsi utama selulosa asetat hasil sintesis hampir sama dengan selulosa asetat komersil. Selulosa asetat hasil sintesis memiliki kandungan asetil 27% dengan derajat substitusi 1,4. Membran polimer elektrolit dari SAS/PEO/LiClO₄ dengan komposisi 25/60/15(%b/b) mulai terdekomposisi pada temperatur di atas temperatur 260 °C. Selain itu membran polimer elektrolit tersebut memiliki konduktivitas sebesar $10,81 \times 10^{-4}$ S/cm, tegangan 0,05 MPa, regangan 14,23 MPa dan Modulus Young 0,35 MPa. Membran polimer elektrolit SAS/PEO/LiClO₄ memiliki nilai konduktivitas lebih tinggi dibandingkan SAS/PEO/LiClO₄. Namun membran polimer elektrolit SAS/PEO/LiClO₄ memiliki ketahanan termal dan mekanik yang lebih rendah dibandingkan membran polimer elektrolit SAS/PEO/LiClO₄.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Kelompok Penelitian Kimia Anorganik dan Fisik, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jendral Perkebunan. (2016). Statistik Perkebunan Indonesia Komoditas Kelapa Sawit 2014 – 2016.
- [2] Kamal, N. (2012). Karakterisasi Dan Potensi Pemanfaatan Limbah Sawit. Teknik Kimia, ITENAS. Bandung
- [3] Warsito, J., Sabang, S.M., Mustapa. (2016). Pembuatan Pupuk Organik Dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit, *J. Akad. Kim.* 5(1), 8-15
- [4] Saputra, E., Bahri, S., Hs, E. (2007). *Bio-Oil* dari Limbah Padat Sawit. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 6(2), 45-49
- [5] Sunaryo, A., Anggito, M., and Sumringahgesit, M. (2013). Hydrolysis of a lignocellulosic materials oil palm empty fruit bunch for ethanol production, *Biomaterial Technology*, 803, 1–11
- [6] Gurning, N. (2013). Pembuatan Beton Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit, *TELAAH Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 31 (1), 13-20
- [7] Bahmid, N.A.(2014). Pengembangan Nanofiber Selulosa Asetat Dari Selulosa Asetat Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Pembuatan Bioplastik, Sekolah Pascasarjana institute Pertanian Bogor, Tesis.
- [8] Fonseca, C.P., Rosa, D.D., Gaboardi, F., Neves, S.(2006). Development of a biodegradable polymer electrolyte for rechargeable batteries. Short communication, *Journal of Power Sources*, 155, 381–384
- [9] Gurusiddappaa, J., Madhurib, W., Suvarnaa, P.R., Dasan, K.P. (2016). Studies on the morphology and conductivity of PEO/LiClO₄. *Materials Today: Proceedings*, 3, 1451–1459
- [10] Laksono, E.W., Marfuatun, Aji, D.(2016). Conductivity of Cellulose Acetate Membranes from Pandan Duri Leaves (*Pandanus tectorius*) for Li-ion Battery. *MATEC Web of Conferences*, 6, doi: 10.1051//20166404001
- [11] Selvakumar, M. Bhat, D.K. (2008). LiClO₄ Doped Cellulose Acetate as Biodegradable Polymer Electrolyte for Supercapacitors. *Journal of Applied Polymer Science*. doi 10.1002/app
- [12] Nurhadini dan Arcana, I.M. (2015). Synthesis of polymer electrolyte from cellulose acetate/poly(ethylene oxide)/LiClO₄ for Ion Battery Application,

- The 5th International Conference On Mathematic And Natural Sciences, AIP.Conf.Proc.1677,070003-4, doi: 10.1063/1.4930707
- [13] Filho, G.R., Monteiro, D.S., Meireles, C.S., Assunção, R.M.N., Cerqueira, D.A., Barud, H.S., Ribero, S.J.L., Messadeq, Y. (2008). Synthesis and characterization of cellulose acetate produced from recycled newspaper, Elsevier, *Carbohydrate Polymers*, 73, 74–82
- [14] Samios, E., Dart, R.K., Darwis, J.V. (1997). Preparation, Characterization and biodegradation studies of cellulose acetate, *Polymer*, 12, 3045-3054.[15]
- [15] Bhattacharya, D., Germinario, L.T. dan Winter, W.T. (2008). Isolation, preparation and characterization of cellulose microfibrils obtained from bagasse. *Carbohydrate Polymers*, 73, 371–377
- [16] Hamisan, A.F., Abd-Aziz,S., Kamarudin,K., Shah, U.K.M., Shahab, N., Hassan, M.A. (2008). Delignification of Oil Palm Empty Fruit Bunch Using Chemical and Microbial Pretreatment Methods. Academic Journal Inc., *International Journal of Agricultural Research*, ISSN 1816-4897
- [17] Rachamawaty, R., Meriyani, M., Priyanto, S., 2013. Sintesis Selulosa Diasetat Dari Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Dan Potensinya Untuk Pembuatan Membran, *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 2, 8-16.
- [18] Barud, S.H, Adalberto, M., Santos, D.B., Assunc, R.M.N., Meireles, C.S., Cerqueira, D.A., Filho, R.G., Ribeiro, C.A., Messaddeq, Y., Ribero, S.J.L. (2008). Thermal behavior of cellulose acetate produced from homogeneous acetylation of bacterial cellulose. *Thermochimica Acta*, 471, 61-69.
- [19] Rudziah, S., Rani, M.S.A., Ahmad, A., Mohamed,H., Kaddami, H.(2015). Potential of blend of kappa-carrageenan and cellulose derivatives for green polymer electrolyte applications . Volume 72, 15 October 2015, Pages 133-141