

## MEMBRAN PVA DENGAN SUBSTITUSI NPS DISIAPKAN DENGAN METODE INFERSI: SEBAGAI SEPARATOR BATERAI Li-ION

<sup>1)</sup>Ajeng Dwi Antika, <sup>2)</sup>Munasir

<sup>1)</sup>Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: Ajeng.18044@mhs.unesa.ac.id

<sup>2)</sup>Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: Munasir\_physics@unesa.ac.id

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk sintesis separator membran PVA dengan substitusi nano partikel SiO<sub>2</sub> (NPS) dengan metode inversi fasa sebagai aplikasi dalam baterai Li-ion. Inversi fasa merupakan metode yang digunakan untuk mengubah polimer cair menjadi lebih padat. Sintesis ini dilakukan dengan cara melarutkan PVA kemudian menambahkan SiO<sub>2</sub> dan mencetaknya dalam wadah datar. Morfologi separator membran dapat diamati dengan karakterisasi SEM. Metode inversi fasa dapat membentuk membran separator komposit PVA/SiO<sub>2</sub> dalam orde mikro dengan ketebalan terkecil yaitu 38,4 μm. Adanya peningkatan konsentrasi SiO<sub>2</sub> dapat menambah ukuran pori membran separator dari 7% - 10% dan dapat meningkatkan sudut kontak dari 59,8° - 65,6°. Resistansi membran separator menurun sebesar 8,2% dan konduktivitas listrik separator semakin meningkat seiring dengan penambahan SiO<sub>2</sub> yaitu dari 3,240 × 10<sup>-4</sup> S/cm sampai dengan sebesar 3,530 × 10<sup>-4</sup> S/cm. Penambahan SiO<sub>2</sub> berbanding lurus dengan sifat tahan panas separator membran. Penambahan SiO<sub>2</sub> NPS pada larutan PVA dengan menggunakan metode inversi fasa akan meningkatkan porositas, konduktivitas listrik, dan konduktivitas termal sehingga membran dapat di aplikasikan sebagai separator baterai Li-ion.

**Kata Kunci:** PVA, nanopartikel (NPS), inversi fasa, separator.

### Abstract

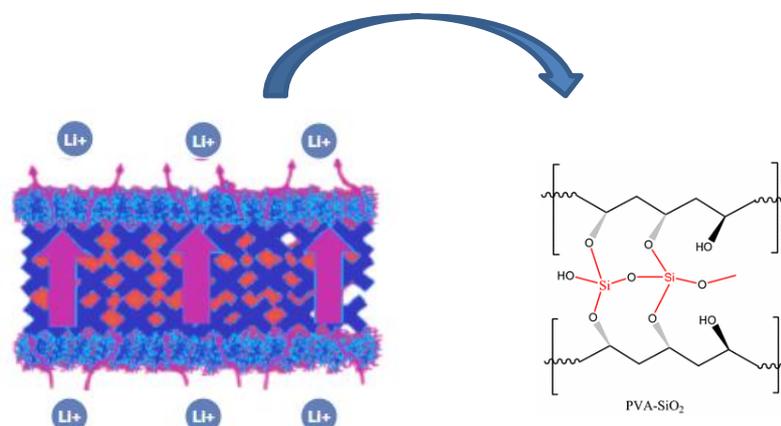
This research is aimed to synthesize a PVA membrane separator with nanoparticles SiO<sub>2</sub> (NPS) substitution using phase inversion method as an application in Li-ion battery. Phase inversion is a method used to convert a liquid polymer into a solid one. This synthesis is carried out by dissolving the PVA, then adding the SiO<sub>2</sub>, and molding it in a flat container. The morphology of the membrane separator can be observed by SEM characterization. The phase inversion method can form a PVA/SiO<sub>2</sub> composite separator membrane in a micro size with the smallest thickness of 38,468 μm. The increase of SiO<sub>2</sub> concentration can enlarge the pore size of the separator membrane from 7% - 10% and the contact angle from 59.896° - 65.655°. The separator membrane resistance decreases by 8.2% and the electrical conductivity of the separator increase with the addition of SiO<sub>2</sub> from 3.240 × 10<sup>-4</sup> S/cm to 3.530 × 10<sup>-4</sup> S/cm. The increase of SiO<sub>2</sub> is directly proportional to the heat resistance properties of the membrane separator. The addition of SiO<sub>2</sub> NPS to the PVA solution using the phase inversion method will raise the porosity, electrical conductivity, and thermal conductivity, so that the membrane can be applied as a Li-ion battery separator.

**Keywords:** PVA, nanoparticles (NPS), phase inversion, separator

## I. PENDAHULUAN

Meningkatnya biaya bahan bakar, polusi, dan pemanasan global adalah di antara masalah yang berhubungan dengan ketergantungan masyarakat modern pada bahan bakar fosil masalah merupakan tujuan yang semakin penting yang dapat dicapai melalui pengembangan sumber energi lain dan teknologi penyimpanan. Seiring dengan perkembangan jaman, sumber daya alam yang digunakan sebagai pembuatan sumber energi sangatlah menipis. Hal ini yang menyebabkan perlu adanya inovasi dalam pembuatan energi baru terbarukan (EBT) sebagai alternatif untuk permasalahan yang ada misalnya, inovasi terkait dengan energi yang terbuat dari minyak bumi yang semakin menipis adalah dengan menciptakan sebuah penyimpanan energi pada baterai.

Baterai merupakan seperangkat alat yang digunakan untuk menyimpan energi dengan kapasitansi yang tinggi serta memiliki masa pakai yang lama (L. Yu and Lin 2016). Baterai dapat menyimpan energi kimia yang nantinya akan diubah menjadi energi listrik ketika akan digunakan. Baterai memiliki kelebihan yaitu dalam siklus hidup yang lama ramah lingkungan (Rajan et al. 2018), kepadatan energi yang tinggi, perawatan yang mudah, dan self discharge yang rendah (Yanilmaz 2019). Baterai memiliki prinsip kerja yang sederhana dengan pembuatan yang mudah. Hal inilah yang menyebabkan superkapasitor diaplikasikan pada perangkat elektronik digital (Xiaodong Wang et al. 2019) dan transportasi (Kumar 2021).



Gambar 1. Membran separator baterai PVA-SiO<sub>2</sub>

Baterai merupakan seperangkat alat yang digunakan untuk menyimpan energi dengan kapasitansi yang tinggi serta memiliki masa pakai yang lama (L. Yu and Lin 2016). Baterai dapat menyimpan energi kimia yang nantinya akan diubah menjadi energi listrik ketika akan digunakan. Baterai memiliki kelebihan yaitu dalam siklus hidup yang lama ramah lingkungan (Rajan et al. 2018), kepadatan energi yang tinggi, perawatan yang mudah, dan self-discharge yang rendah (Yanilmaz 2019). Baterai memiliki prinsip kerja yang sederhana dengan pembuatan yang mudah. Hal inilah yang menyebabkan superkapasitor diaplikasikan pada perangkat elektronik digital (Xiaodong Wang et al. 2019) dan transportasi (Kumar 2021).

Baterai merupakan seperangkat alat yang memiliki prinsip kerja hampir sama dengan superkapasitor. Secara umum baterai menggunakan reaksi elektrokimia untuk menyimpan suatu energi sedangkan superkapasitor bekerja dengan cara menyimpan energi melalui pemisahan muatan listrik. Baterai terdiri dari dua elektroda, elektrolit, dan separator/pemisah. Separator/pemisah berfungsi sebagai pemisah kedua elektroda agar tidak terjadi tumpang tindih antar kedua muatan yang akan menyebabkan korsleting, isolasi transmisi elektron, dan dapat menjadi media transportasi ion (Liu and Chuan 2021).

Separator/pemisah biasanya terbuat dari plastik/kertas yang direndam oleh cairan elektrolit (Tetra 2018). Separator biasanya terbuat dari karet, plastik, aquagel, formaldehyde, dan polimer (Nirwan and Setyawan 2020). Seiring dengan berjalannya waktu separator yang sering digunakan akan cenderung mengering dan mengalami kerusakan. Akibatnya, diperlukan separator yang terbuat dari bahan dengan porositas tinggi yang memberikan resistensi minimal terhadap pergerakan ion elektrolit dan pada saat yang sama, memiliki sifat isolasi elektronik antara elektroda yang berlawanan (H. Yu et al. 2012).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, separator dibuat dengan cara penggabungan partikel anorganik agar dapat meningkatkan stabilitas termal dan kinerja elektrokimia (Chen 2017). Penelitian sebelumnya menggunakan  $\text{SiO}_2$  untuk meningkatkan konduktivitas ionik (Xiao Wang et al. 2018), stabilitas termal (Yanilmaz 2019), dan mengakibatkan penurunan diameter serat (Nirwan and Setyawan 2020). Namun, apabila jumlah  $\text{SiO}_2$  yang digunakan akan menyebabkan aglomerasi sehingga laju kinetika berlangsung lambat dan pembentukan droplet (Yanilmaz 2019).

Polivinil alcohol (PVA) bersifat mudah menyatu dengan polimer alami dan terbarukan. PVA memiliki sifat mudah larut dalam air dan mudah membentuk gel (Fan et al. 2017) yang memiliki biodegradabilitas, sifat mekanik yang baik, pembentukan film dan ketahanan kimia yang sangat baik. Selain itu, PVA memiliki sifat yang elastis (simanjuntak) dan tidak toksik sehingga dapat digunakan untuk *storage device* yang ramah lingkungan.

Kedua bahan tersebut telah dilaporkan oleh Nirwan and Setyawan (2020) pada penelitiannya yang membahas sintesis PVA/ $\text{SiO}_2$  dengan metode electrospinning untuk aplikasi separator superkapasitor. Berdasarkan penelitiannya Muhammad Nirwan malaporkan bahwa penambahan  $\text{SiO}_2$  pada PVA mempengaruhi kekentalan larutan sehingga mempengaruhi kemampuan larutan dalam pembentukan serat. Semakin tinggi penambahan  $\text{SiO}_2$ , maka serat nanofiber akan sulit terbentuk sehingga mengakibatkan penurunan diameter serat.

Salah satu metode yang digunakan untuk membuat membran adalah inversi fasa. Inversi fasa merupakan metode yang digunakan untuk mengubah polimer cair menjadi lebih padat. Selain itu inversi fasa telah digunakan sejak lama untuk pembentukan struktur porous membran (Huang 2012). Penelitian kali ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dari separator baterai dan pengaruh dari penambahan  $\text{SiO}_2$  terhadap PVA.

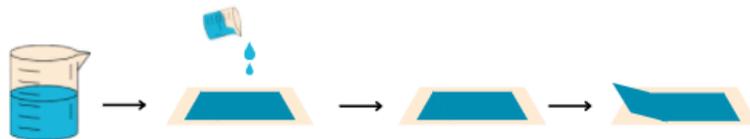
## II. METODE

### A. Material

Pembuatan separator ini menggunakan poli(vinil alkohol) PVA (wt 60.000-125.000) yang diproduksi oleh HIMEDIA Mumbai, Indonesia, pasir  $\text{SiO}_2$ , air suling/*distilled water*, dan ethanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ , 99%) yang digunakan untuk membersihkan alat-alat sebelum dipakai.

### B. Membran Nanokomposit PVA- $\text{SiO}_2$

Membersihkan alat-alat terlebih dahulu dengan menggunakan air suling. Membran nanokomposit dibuat dengan mencampurkan pasir PVA dan  $\text{SiO}_2$ . Pertama, membran dibuat dengan melarutkan PVA dengan air suling hingga mencapai konsentrasi 10%wt selama 4 jam. kemudian larutan tersebut diaduk dengan  $\text{SiO}_2$  yang berkonsentrasi sebesar 0,5wt%, 1wt%, 1,5wt%, dan 2wt% selama 5 jam. Inversi Fasa didapatkan dari larutan nanokomposit PVA- $\text{SiO}_2$  yang telah diaduk selama 5 jam kemudian diletakkan pada tempat datar kemudian diratakan hingga ketebalan tertentu. Bairkan larutan tersebut selama 2-3 hari pada suhu ruang. Setelah kering dikelupas secara perlahan dan dikeringkan pada suhu  $60^\circ\text{C}$  selama 2 jam.



Gambar 1. Metode Inversi fasa pada fabrikasi separator PVA- $\text{SiO}_2$

### C. Karakterisasi Membran PVA- $\text{SiO}_2$

Morfologi pemisah/separator komposit superkapasitor divisualisasikan dengan mikroskop elektron pemindaian (SEM). SEM digunakan untuk menentukan porositas dan ukuran pori pada separator superkapasitor. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) digunakan untuk mengkarakterisasi vibrasi gugus fungsi nanopartikel dari PVA- $\text{SiO}_2$ . Kemudian terdapat pengujian sudut kontak yang digunakan untuk mengukur hidrofilisitas atau hidrofobisitas permukaan padat. Four Point Probe (FPP) digunakan untuk mengetahui konduktivitas listrik dari separator PVA- $\text{SiO}_2$  melalui resistivitasnya ( $\rho$ ).

$$\rho = \frac{\pi t}{Ln 2} \left( \frac{V}{I} \right) \quad (1)$$

dimana  $t$  merupakan ketebalan sampel,  $V$  merupakan tegangan keluaran dan  $I$  merupakan arus yang dihasilkan, maka dapat dihitung konduktivitasnya ( $\sigma$ ) melalui [hubungan](#):

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

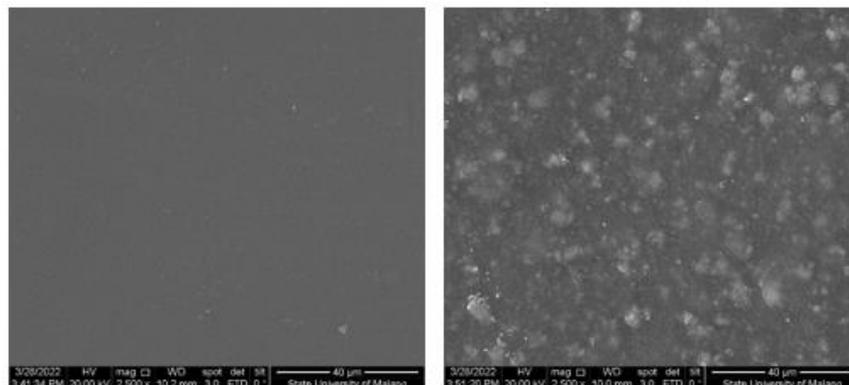
Porositas suatu membran dapat diketahui melalui uji porositas yang dilakukan dengan menimbang sampel yang telah direndam dalam air selama 24 jam dan mengeringkannya dengan suhu 60°C selama 48 jam, maka dapat dihitung jumlah porositasnya dengan

$$\% \text{ Porositas} = \frac{(w_{wet}) - (w_{dry})}{w_{dry}} \times 100\% \quad (3)$$

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan review dari Rozafia (2020) ketebalan standar separator ideal adalah <25  $\mu\text{m}$ . Ketebalan dari separator ini mempengaruhi proses swelling dan sifat mekaniknya. Gambar 2 menunjukkan hasil uji SEM pada sampel PVA 10% dan penambahan  $\text{SiO}_2$  2% pada larutan PVA.



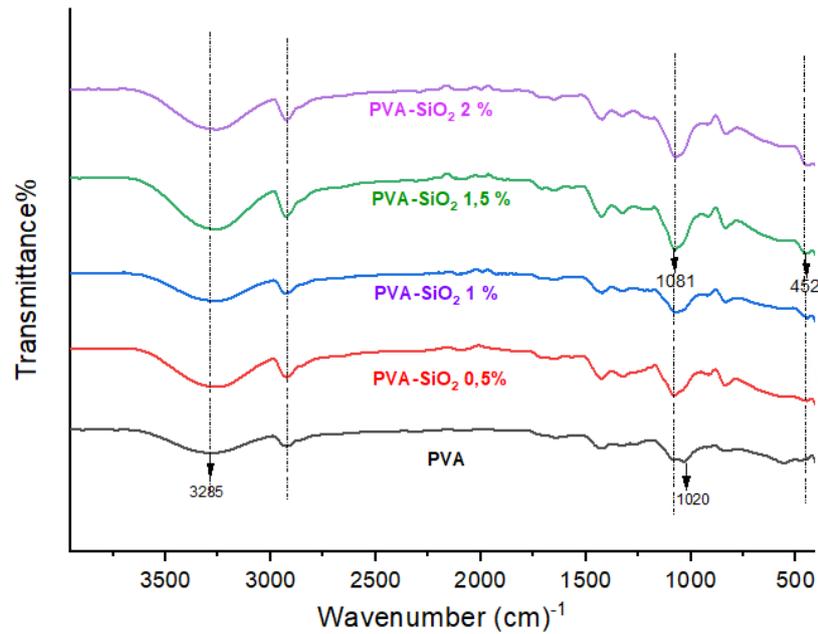
Gambar 2 Hasil Uji SEM permukaan PVA 10% dan PVA-SiO<sub>2</sub> 2%

Gambar 2 menunjukkan hasil pengujian SEM pada permukaan separator PVA dan PVA-SiO<sub>2</sub>, dimana pada gambar tersebut terdapat perbedaan kekasaran yang terbentuk akibat adanya penambahan SiO<sub>2</sub> pada larutan PVA.

Tabel 1. Hasil uji porositas separator membran

Sampel Separator	Porositas (%)
PVA-SiO <sub>2</sub> 0.5 %wt	7
PVA-SiO <sub>2</sub> 1 %wt	7.75
PVA-SiO <sub>2</sub> 1.5 %wt	9.75
PVA-SiO <sub>2</sub> 2 %wt	10

Tabel 1 menunjukkan hasil uji porositas separator membran seiring dengan penambahan SiO<sub>2</sub> pada larutan PVA. Porositas membran meningkat sebesar sebesar 3% sehingga hal ini mengakibatkan penurunan diameter serat sehingga sesuai dengan penelitian dari Nirwan dan Setyawan (2020) yang menyatakan bahwa SiO<sub>2</sub> dapat mengakibatkan penurunan diameter serat dan dapat menambah porositas membran.



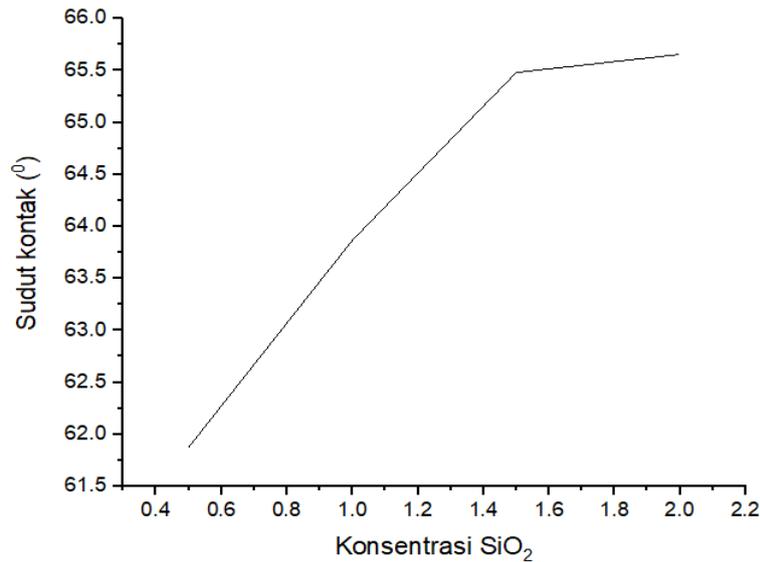
Gambar 3. Hasil FTIR pada separator PVA dan PVA-SiO<sub>2</sub>

Gambar 3 merupakan hasil uji FTIR dari membran PVA dan PVA-SiO<sub>2</sub> (0,5%, 1%, 1,5%, dan 2%) dengan metode infersi fasa. Berdasarkan gambar 2 PVA murni terlihat bahwa puncak utama terletak pada 3285 cm<sup>-1</sup> yang diakibatkan oleh gugus -OH. Hal ini dijelaskan oleh Yanilmaz (2019) bahwa puncak utama PVA murni berada diantara 3550-3200 cm<sup>-1</sup>. Kemudian menurut penelitian Pirzada et al. (2012) gugus -OH yang menyebabkan adanya puncak utama di sekitar 3300 cm<sup>-1</sup> pada PVA murni. Kemudian terdapat puncak lain yaitu C-OH pada 1020 cm<sup>-1</sup>. gugus fungsi C-OH menghilang ketika terjadi penambahan SiO<sub>2</sub> 0,5%,1%, 1,5%, dan 2% pada larutan PVA. Hal ini terjadi karena terdapat pembentukan gugus Si-O-C dan menunjukkan bahwa PVA dan SiO<sub>2</sub> terikat secara kovalen. Berdasarkan hasil kedua uji FTIR tersebut terdapat adanya gugus lain yaitu Si-O-Si. Kehadiran Si-O-Si pada membran PVA-SiO<sub>2</sub> menunjukkan adanya jaringan silika yang terbentuk pada komposit electrospun (Dirican et al. 2014). Berdasarkan hasil uji FTIR secara berturut-turut, fasa puncak utama silika 0,5%wt, 1%wt, 1,5%wt, dan 2%wt berada pada 1080 dan 432 cm<sup>-1</sup>.

Tabel 2. Hasil Sudut Kontak Separator

Sampel Separator	Sudut Kontak (°)
PVA	59,896
PVA-SiO <sub>2</sub> 0.5 %wt	61,876
PVA-SiO <sub>2</sub> 1 %wt	63,869
PVA-SiO <sub>2</sub> 1.5 %wt	65,480
PVA-SiO <sub>2</sub> 2 %wt	65,655

Gambar 4 merupakan hasil dari sudut kontak dari separator PVA-SiO<sub>2</sub>. Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran dari sudut kontak PVA-SiO<sub>2</sub>. Sudut kontak pada separator PVA sebesar 59,896°, PVA-SiO<sub>2</sub> 0,5wt% dengan hasil sudut kontak sebesar 61,876°, PVA-SiO<sub>2</sub> 1wt% dengan hasil sudut kontak sebesar 63,869°, PVA-SiO<sub>2</sub> 1,5wt% dengan hasil sudut kontak sebesar 65,480° dan yang terakhir PVA-SiO<sub>2</sub> 2wt% dengan hasil sudut kontak sebesar 65,655°. Sehingga sudut kontak rata-rata yang didapatkan sebesar 63,355°. Kenaikan sudut kontak divisualisasikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh penambahan SiO<sub>2</sub> pada Larutan PVA terhadap Sudut Kontak

Berdasarkan Mekanik et al. (2016) suatu membran dikatakan hidrofilik apabila sudut kontak air  $<90^{\circ}$  dan dikatakan hidrofobik apabila sudut kontak  $>90^{\circ}$ . Pada dasarnya PVA merupakan polimer yang bersifat hidrofilik dan mudah larut dalam air, sedangkan SiO<sub>2</sub> merupakan material yang bersifat hidrofobik dan sukar larut dalam air (Rohmah and Zainuri 2016). Gambar 4 menunjukkan adanya pengaruh penambahan SiO<sub>2</sub> pada larutan PVA yang ditunjukkan dengan kenaikan nilai sudut kontak. Penambahan SiO<sub>2</sub> menyebabkan membran mengalami penurunan tingkat hidrofilitas dan mendekati tingkat hidrofobik. Penambahan SiO<sub>2</sub> dalam larutan PVA dapat meningkatkan hidrofobisitas atau menurunkan hidrofilitas membran.

Tabel 3. Hasil uji resistivitas dan konduktivitas Separator PVA-SiO<sub>2</sub>

Sampel Separator	Resistivitas ( $\Omega$ )	Konduktivitas ( $S/cm^{-1}$ )
PVA-SiO <sub>2</sub> 0.5 %wt	$3,088 \times 10^3$	$3,240 \times 10^{-4}$
PVA-SiO <sub>2</sub> 1 %wt	$2,951 \times 10^3$	$3,389 \times 10^{-4}$
PVA-SiO <sub>2</sub> 1.5 %wt	$2,899 \times 10^3$	$3,449 \times 10^{-4}$
PVA-SiO <sub>2</sub> 2 %wt	$2,834 \times 10^3$	$3,530 \times 10^{-4}$

Berdasarkan penelitian dari Rozafia (2020), separator baterai ideal memiliki konduktivitas listrik yang bernilai  $>10^{-4}$ . Tabel 1 menjelaskan bahwa resistivitas sebesar  $3,088 \times 10^3 \Omega$  dan konduktivitas sebesar  $3,249 \times 10^{-4} S/cm^{-1}$  pada penambahan SiO<sub>2</sub> 0,5%wt. kemudian resistivitas bernilai  $2,834 \times 10^3 \Omega$  konduktivitas listrik bernilai  $3,530 \times 10^{-4} S/cm^{-1}$  pada penambahan SiO<sub>2</sub> 2%wt. Hal ini menjelaskan bahwa nilai resistivitas yang semakin rendah seiring dengan penambahan SiO<sub>2</sub> sehingga mengakibatkan kenaikan nilai konduktivitas pada separator baterai. Hal ini diakibatkan karena perlakuan penambahan SiO<sub>2</sub> pada larutan PVA. Material SiO<sub>2</sub> dapat meningkatkan nilai konduktivitas listrik dan konduktivitas termal (Xiao Wang et al. 2018). Pengaruh penambahan konsentrasi SiO<sub>2</sub> pada larutan PVA terhadap resistivitas dan konduktivitas adalah berbanding terbalik, dimana hubungan pengaruh penambahan SiO<sub>2</sub> ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 4. Hasil uji tahan panas pada separator membran PVA-SiO<sub>2</sub>

Sampel Separator	t (s)	Sebelum pembakaran	Proses Pembakaran	Sesudah pembakaran
PVA	1			
PVA-SiO <sub>2</sub> 1%wt				
PVA-SiO <sub>2</sub> 2%wt				

Berdasarkan penelitian dari Xiao Wang et al (2018) SiO<sub>2</sub> merupakan material yang dapat meningkatkan konduktivitas termal sehingga dapat diartikan penambahan SiO<sub>2</sub> akan berbanding lurus dengan konduktivitas termal. Tabel 4 menunjukkan adanya hasil uji konduktivitas termal dengan menggunakan api untuk mengetahui sifat tahan panas dari separator membran PVA-SiO<sub>2</sub>. PVA murni terlihat lebih mudah dan cepat terbakar karena tidak ada penambahan SiO<sub>2</sub> sedangkan pada PVA-SiO<sub>2</sub> 1%wt dan 2%wt lebih sulit terbakar karena adanya penambahan SiO<sub>2</sub>.

#### IV. KESIMPULAN

Metode infersi fasa dapat membentuk membran separator komposit PVA/SiO<sub>2</sub> dalam orde mikro dengan ketebalan terkecil yaitu 38,4 μm. Adanya peningkatan konsentrasi SiO<sub>2</sub> dapat menambah ukuran pori membran separator dari 7% - 10% dan dapat meningkatkan sudut kontak dari 59,8° - 65,6°. Resistansi membran separator menurun sebesar 8,2% dan konduktivitas listrik separator semakin meningkat seiring dengan penambahan SiO<sub>2</sub> yaitu dari 3,240 x 10<sup>-4</sup> S/cm sampai dengan sebesar 3,530 x 10<sup>-4</sup> S/cm. Penambahan SiO<sub>2</sub> berbanding lurus dengan sifat tahan panas separator membran baterai. Separator membran baterai PVA-SiO<sub>2</sub> dengan metode infersi fasa masih belum bisa diaplikasikan pada baterai Li-ion karena masih memiliki porositas yang belum sesuai dengan standar separator baterai Li-ion.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih penulis sampaikan kepada Laboratorium Material dan Laboratorium Karakterisasi Jurusan Fisika Universitas Negeri Surabaya, yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian ini hingga selesai.

#### DAFTAR PUSTAKA

Chen, George Z. 2017. Supercapacitor and Supercapattery as Emerging Electrochemical Energy Stores. *International Materials Reviews* 62(4): 173-202. <http://dx.doi.org/10.1080/09506608.2016.1240914>.

- Dirican, Mahmut et al. 2014. Carbon-Confined PVA-Derived Silicon/Silica/Carbon Nanofiber Composites as Anode for Lithium-Ion Batteries. *Journal of The Electrochemical Society* 161(14): A2197–2203.
- Fan, Lidan et al. 2017. Preparation of PVA-KOH-Halloysite Nanotube Alkaline Solid Polymer Electrolyte and Its Application in Ni-MH Battery. *International Journal of Electrochemical Science* 12(6): 5142–56.
- Huang, Xiaosong. 2012. A Lithium-Ion Battery Separator Prepared Using a Phase Inversion Process. *Journal of Power Sources* 216: 216–21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.05.019>.
- Kumar, Jitendra. 2021. Binder-Free, Thin-Film Ceramic-Coated Separators for Improved Safety of Lithium-Ion Batteries.
- Liu, Fangfang, and Xiuyun Chuan. 2021. Separators for Lithium-Ion Batteries. : 16633–44.
- Mekanik, Karakteristik et al. 2016. Stearat Untuk Kemasan Multilayer. : 63–73.
- Nirwan, Muhamad, and Heru Setyawan. 2020. Synthesis of PVA / SiO<sub>2</sub> Nanofibers by Electrospinning Method for Supercapacitor. *IPTEK Proceeding Series*.
- Pirzada, Tahira et al. 2012. “Hybrid Silica-PVA Nanofibers via Sol-Gel Electrospinning.” *Langmuir* 28(13): 5834–44.
- Rajan, Dhevathi et al. 2018. Analysis of the Separator Thickness and Porosity on the Performance of Lithium-Ion Batteries. 2018.
- Rohmah, Roihatur, and Mochamad Zainuri. 2016. Pengaruh Variasi Temperatur Kalsinasi SiO<sub>2</sub> Terhadap Sifat Kebasahan Pada Permukaan. *Jurnal Sains dan Seni ITS* 5(2): 3–6.
- Rozafia, Ade Irma. 2020. Membran Komposit Sebagai Separator Baterai Ion Lithium : Review. *Research Gate* (June).
- Tetra, Olly Norita. 2018. Superkapasitor Berbahan Dasar Karbon Aktif Dan Larutan Ionik Sebagai Elektrolit.” *Jurnal Zarah* 6(1): 39–46.
- Wang, Xiao et al. 2018. A Phase Inversion Based Sponge-like Polysulfonamide/SiO<sub>2</sub> Composite Separator for High Performance Lithium-Ion Batteries. *Chinese Journal of Chemical Engineering* 26(6): 1292–99. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2017.12.010>.
- Wang, Xiaodong et al. 2019. Preparation and Performance of Polypropylene Separator Modified by SiO<sub>2</sub>/PVA Layer for Lithium Batteries. : 470–76.
- Yanilmaz, Meltem. 2019. Evaluation of Electrospun PVA / SiO<sub>2</sub> Nanofiber Separator Membranes for Lithium-Ion Batteries. *The Journal of The Textile Institute* 0(0): 1–6. <https://doi.org/10.1080/00405000.2019.1642070>.
- Yu, Haijun et al. 2012. “Using Eggshell Membrane as a Separator in Supercapacitor.” *Journal of Power Sources* 206: 463–68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.01.116>.
- Yu, Linghui, and Y S Lin. 2016. “Ceramic Coated Polypropylene Separators for Lithium-Ion Batteries with Improved Safety: Effects of High Melting Point Organic Binder. *RSC Advances* 6: 40002–9. <http://dx.doi.org/10.1039/C6RA04522G>.