

## Fabrikasi dan Karakterisasi Nanofiber PVA-*Graphene Oxide* (GO) sebagai Separator Baterai Lithium-Ion

<sup>1)</sup>Tia Nur Agustin, <sup>2)</sup>Diah Hari Kusumawati

<sup>1)</sup> Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: [tia.18048@mhs.unesa.ac.id](mailto:tia.18048@mhs.unesa.ac.id)

<sup>2)</sup> Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: [diahkusumawati@unesa.ac.id](mailto:diahkusumawati@unesa.ac.id)

### Abstrak

Separator adalah komponen utama dalam baterai litium-ion yang berfungsi mencegah kemungkinan konsleting listrik dan transportasi ion bebas sekaligus mengisolasi aliran listrik. Separator harus memiliki porositas yang memadai, konduktivitas yang tinggi dan stabilitas termal yang baik. Nanofiber PVA-GO dibuat dengan metode elektrospinning digunakan sebagai separator baterai Lithium-Ion. Variasi penambahan *Graphene Oxide* (GO) yang digunakan 0,1-0,3. Hasil pengukuran diameter awal dengan Mikroskop optik diameter rata-rata PVA adalah 0.63  $\mu\text{m}$  dan PVA-GO adalah 0.52  $\mu\text{m}$ -0.70  $\mu\text{m}$ . Spektrum FTIR PVA, gugus O-H stretch terdeteksi pada 3285  $\text{cm}^{-1}$  merupakan gugus *hidroxyl* yang disebabkan oleh frekuensi peregangan OH dari PVA. Pada PVA-0.3 GO puncak 1651  $\text{cm}^{-1}$ , dan 1091  $\text{cm}^{-1}$  terdeteksi C=O stretch dari gugus fungsi *carboxyl* dan *carboxylic* dari GO, dan C-O stretch yang dideteksi sebagai *epoxy* dari GO. Adanya puncak pada 1651  $\text{cm}^{-1}$  menegaskan adanya GO dalam komposit PVA-GO. Hasil uji SEM menghasilkan diameter rata-rata nanofiber PVA adalah 216 nm, dan nanofiber PVA-GO 0,1 dan 0,3 adalah 162 nm dan 194 nm. Nilai porositas nanofiber PVA adalah 44 % dan nanofiber PVA berbagai konsentrasi GO adalah 53%, 47%, dan 42%. Hasil pemanasan nanofiber menunjukkan stabilitas termal yang baik. Hasil EIS nanofiber PVA, memiliki nilai impedansi 356,20 k $\Omega$  dengan nilai konduktivitas 0,3  $\times 10^{-4}$  S/cm dan PVA-GO dari 0,1-0,3 nilai impedansinya adalah; 39,84 k $\Omega$ ; 71,99 k $\Omega$  dan 392,05 k $\Omega$  dan nilai konduktivitas masing-masing adalah, 2,66  $\times 10^{-4}$  S/cm., 1,47  $\times 10^{-4}$  S/cm., 0,27  $\times 10^{-4}$  S/cm. Dari karakterisasi yang telah dilakukan, nanofiber PVA-GO memenuhi kriteria sebagai separator baterai Lithium-ion.

**Kata Kunci:** Nanofiber, PVA-GO, Separator

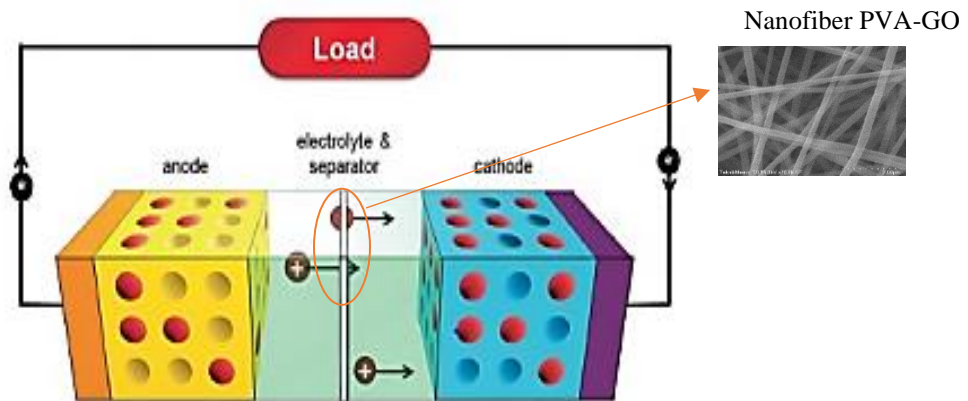
### Abstract

The separator is the main component in a lithium-ion battery which functions to prevent possible electrical short circuits and transport of free ions while isolating the flow of electricity. The separator must have sufficient porosity, high conductivity and good thermal stability. PVA-GO nanofiber made by the electrospinning method is used as a Lithium-Ion battery separator. Variation of the addition of Graphene Oxide (GO) used 0,1-0,3. The results of the initial diameter measurement with an optical microscope average diameter of PVA is 0.63  $\mu\text{m}$  and PVA-GO, is 0.52  $\mu\text{m}$ -0.70  $\mu\text{m}$ . In the FTIR spectrum of PVA, the O-H stretch detected at 3285  $\text{cm}^{-1}$  is a hydroxyl group caused by the OH stretching frequency of PVA. In PVA-0.3 GO the peaks of 1651  $\text{cm}^{-1}$  and 1091  $\text{cm}^{-1}$  were detected as C=O stretches from the carboxyl and carboxylic functional groups of GO, and C-O stretches were detected as epoxy from GO. The presence of a peak at 1651  $\text{cm}^{-1}$  confirmed the presence of GO in the PVA-GO composite. SEM test results showed that the average diameter of PVA nanofibers was 216 nm, and PVA-GO 0.1 and 0.3 nanofibers were 162 nm and 194 nm. The porosity value of the PVA nanofiber was 44% and each of the various GO concentration nanofibers were 53%, 47%, and 42%. The results of nanofiber heating showed good thermal stability. The results of the PVA nanofiber EIS, has an impedance value of 356.20 k $\Omega$  with a conductivity value 0.3  $\times 10^{-4}$  S/cm and PVA-GO of 0.1-0.3 the impedance values are; 39.8 k $\Omega$ ; 71.99 k $\Omega$  and 392.05 k $\Omega$  and the conductivity values were, respectively, 2.66  $\times 10^{-4}$  S/cm, 1.47  $\times 10^{-4}$  S/cm, 0.27  $\times 10^{-4}$  S/cm. From the characterization that has been carried out, PVA-GO nanofiber fulfills the characteristic requirements as a Lithium ion battery separator.

**Keywords:** Nanofiber, PVA-GO, Separator

## I. PENDAHULUAN

Baterai *Lithium-Ion* adalah salah satu kandidat yang dianggap paling menjanjikan dengan kepadatan energi dan daya output yang tinggi serta telah banyak digunakan dalam peralatan *portable* kecil, kendaraan listrik, peralatan medis, dan mikroelektronika (Dong et al., 2021). Baterai Lithium memiliki komponen utama yaitu anoda, katoda, cairan elektrolit dan separator, seperti pada gambar 1. Separator adalah salah satu komponen penting pada baterai. Separator adalah komponen yang memisahkan elektroda positif dan negatif baterai yang digunakan untuk mencegah terjadinya konsleting listrik sekaligus memungkinkan transportasi ion bebas dan mengisolasi aliran listrik (Li et al., 2016). Ketika baterai lithium beroperasi, ion lithium mengalir dari katoda melalui elektrolit dan separator yang disimpan sementara di anoda, saat yang sama elektron mengalir di sirkuit eksternal sebagai listrik untuk beban. Ketika sel diisi ulang setelah digunakan aliran ion lithium berlawanan arah, dan direduksi kembali menjadi logam lithium atau grafit untuk disimpan di anoda (Armand, M., & Tarascon, J.M., 2018).



Gambar 1. Komponen Baterai Lithium-Ion (Priyono et al., 2019)

Separator yang memiliki kinerja tinggi membutuhkan resistansi elektronik tak terbatas dan konduktivitas ion yang tinggi (Chen et al., 2022). Selain itu, suatu separator harus inert secara kimia dan elektrokimia (Lee H et al 2013) untuk kedua elektroda dan elektrolit mencapai stabilitas dalam rentang waktu yang lama (Lagadec et al., 2019). Konduktivitas ionik yang memenuhi syarat sebagai separator adalah berada diantara direntang ( $10^{-7}$ - $10^{-3} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ) (Nurhadini., 2021). Nilai konduktivitas ionik didapatkan dengan menggunakan persamaan (1).

$$\sigma = \frac{d}{R_{ct} \times A} \quad (1)$$

Dimana  $\sigma$  adalah konduktivitas (S/cm),  $d$  adalah ketebalan membran (cm),  $R_{ct}$  (Resistansi transfer muatan) adalah hambatan antarmuka (k $\Omega$ ) dan  $A$  adalah luas permukaan membran (cm<sup>2</sup>).

Konduktivitas ionik dikaitkan pada struktur separator seperti porositas. Porositas yang tepat diberikan untuk separator dalam menyimpan elektrolit yang memadai untuk mencapai transfer ionik yang tinggi (Chen et al., 2022). Porositas yang terlalu tinggi, akan membuat separator rapuh dan berpengaruh pada keamanan baterai, namun jika porositas terlalu kecil, elektrolit yang terisi dalam separator tidak memadai sehingga mengakibatkan berkurangnya konduktivitas ionik dan kinerja baterai. Porositas untuk separator yang ideal adalah ~40% (Arifin & Zainuri, 2014). Nilai porositas suatu separator dapat dihitung menggunakan persamaan (2).

$$\text{porosity (\%)} = \frac{W_{\text{wet}} - W_{\text{dry}}}{\rho_b V} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana  $W_{\text{wet}}$  adalah massa sesudah perendaman,  $W_{\text{dry}}$  adalah massa sebelum perendaman,  $\rho_b$  adalah massa jenis butanol yaitu 0,81 gram/cm<sup>3</sup>, dan  $V$  adalah volume membran.

Separator baterai yang sering digunakan adalah polietilen (PE) dan Polipropilen (PP). Namun sifat tahan panas dari PE dan PP tidak cukup baik sehingga dapat membatasi penggunaan dan keamanan baterai (Li et al., 2016). Stabilitas termal yang buruk akan menyebabkan penyusutan termal saat dipanaskan secara tidak normal (Li et al., 2016). Sehingga dibutuhkan separator dengan stabilitas elektrokimia dan termal yang baik.

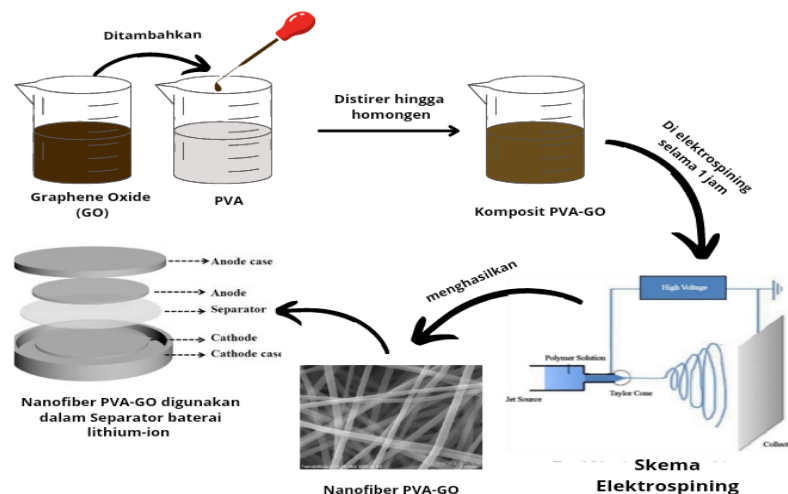
Nanofiber memiliki struktur yang sangat berpori (80-99%) dengan rasio luas permukaan yang besar, permukaan fleksibel, keterbasahan elektrolit sangat baik yang menyebabkan penyerapan elektrolit yang besar, konduktivitas ionik tinggi yang mempercepat transportasi ionik dan sifat mekanik yang lebih unggul sehingga nanofiber cocok digunakan sebagai separator baterai (Zhu et al., 2016; Carli et al., 2018). Dalam

pembuatan nanofiber, metode elektrosinning telah mendapat perhatian dalam beberapa tahun terakhir. Elektrosinning adalah metode teknologi baru dan efektif dalam pembuatan nanofiber polimer (Yao H et al., 2022; Tili, I., & Alkanhal, A., 2019). Elektrosinning dikenal sebagai teknik yang menarik karena hemat biaya, dan kemampuannya untuk menghasilkan nanofiber kontinyu dengan diameter kecil juga luas permukaan yang besar (Mohd Abdah et al., 2017). Selain itu elektrosinning menghasilkan nanofiber yang memiliki sifat mekanik baik, homogen, dan porositas mencapai 90 % (Putri, A.N., & Munasir, 2020)

Banyak polimer yang digunakan untuk pembuatan nanofiber diantaranya adalah PVA (*Polyvinyl Alcohol*). PVA adalah polimer yang mudah larut dalam air dengan keterbasahan yang sangat baik, biodegradabilitas yang baik, tidak beracun dan sifat mekanik yang baik (Uddin et al., 2017; Zubair et al., 2017). Diketahui juga bahwa titik leleh dari PVA mencapai 200°C yang menandakan bahwa PVA memiliki kestabilan yang baik secara kimia dan termal (Firdaus et al., 2022; Uddin et al., 2017), sehingga PVA memiliki peluang besar dalam penggunaan sebagai bahan separator baterai yang bekerja pada suhu tinggi. Namun PVA adalah bahan nonkonduktif sehingga diperlukan nanofiler untuk menghasilkan komposit polimer yang konduktif secara termal dan listrik. Nanomaterial seperti carbon *nanotube* dan *graphene* dapat digunakan sebagai nanofiler pada PVA (Cui et al., 2022). *Graphene Oxide* yang merupakan turunan graphene dapat digunakan sebagai nanofiler untuk meningkatkan performa PVA sebagai separator baterai Lithium-ion.

*Graphene Oxide* atau GO adalah salah satu turunan penting dari graphene yang memiliki banyak gugus hidrofilik pada permukaannya (Liu & Zelo., 2020), memiliki luas permukaan yang tinggi dan konduktivitas listrik yang baik (Zubair et al., 2017). Selain itu GO memiliki keunikan yaitu stabilitas dimensi, kimia, termal yang sangat baik dan permeabilitas rendah, biaya rendah, fungsional permukaan serta ketebalan minimum (Castell et al., 2019) *Graphene Oxide* dapat diperoleh dari oksidasi *graphite* dengan metode Hummer dan melalui pengelupasan *Graphite Oxide*. Karena adanya ikatan hidrogen pada GO mengakibatkan konduktivitas proton tinggi ketika polimer seperti PVA digabungkan dengan GO. Gugus fungsional GO seperti *Carboxylic* dan ikatan hidrogen antar molekul memberi penambahan jalur dan meningkatkan jumlah proton (Narsiti & Hidayati., 2020). Oleh karena itu, GO menjadi salah satu kandidat terbaik untuk nanofiler pada polimer hidrofilik seperti PVA (Zubair et al., 2017). Interaksi kuat antara GO dan matriks polimer PVA diharapkan secara signifikan memberikan efek penguatan yang sangat baik untuk material nanokomposit (Gahlot et al., 2015).

Penelitian sebelumnya nanofiber PVA-GO yang dihasilkan dengan elektrosinning memiliki performa yang sangat baik sebagai separator. Penambahan GO pada PVA memfasilitasi transpor ion sehingga menghasilkan konduktivitas ionik tinggi dan kinerja siklus yang baik (Qin P et al., 2018). Penelitian lainnya dari Basha et al., 2018 telah membuat membran elektrolit PVA/PVP/GO dengan penambahan GO telah berhasil meningkatkan konduktivitas hingga  $6,13 \times 10^{-4}$  S/cm. Penelitian lain dari Ahmad, A.L. et al., 2018 yang membuat membran elektrolit (PVDF-HFP) dengan penambahan GO meningkatkan sifat mekanik, termal dan meningkatkan konduktivitas  $4,23 \times 10^{-4}$  S/cm. Oleh karena itu, dalam penelitian ini pembuatan komposit PVA-*Graphene Oxide* dilakukan dengan metode elektrosinning sebagai separator dengan memvariasikan konsentrasi GO. Pengaruh konsentrasi GO terhadap morfologi, porositas, stabilitas dan konduktivitas nanofiber sebagai separator baterai Lithium-Ion akan dibahas dalam penelitian ini. Skema preparasi dan sintesis nanofiber komposit PVA-GO sebagai separator ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Skema pembuatan separator nanofiber PVA-GO

## II. METODE

### A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan beberapa tahapan yaitu preparasi sampel meliputi sintesis *graphene oxide*, pembuatan larutan PVA, pembuatan komposit PVA-GO dengan variasi jumlah GO dan pembuatan nanofiber PVA-GO dari berbagai variasi GO.

#### a. Sintesis *Graphene Oxide*.

Metode sintesis dalam pembuatan Graphene Oxide adalah metode Hummer (Sari et al., 2018). Sebanyak 2 gram serbuk grafit ditambahkan  $H_2SO_4$  sebanyak 46 ml,  $NaNO_3$  sebanyak 1 gram. Pada proses encampuran tersebut dilakukan dalam kondisi *ice bath* dan dipertahankan dibawah suhu  $20^\circ C$  selama 40 menit. Sebanyak 6 gram  $KMnO_4$  ditambahkan secara perlahan. Selanjutnya larutan diaduk pada *heat bath* suhu  $35^\circ C$  selama 40 menit. Kemudian suhu dinaikkan  $95^\circ C$  dan diaduk selama 20 menit. Lalu larutan dipanaskan pada  $50^\circ C$  *heat bath* dan diaduk dalam waktu 1 jam dan 300 ml aquades dimasukkan ke dalam larutan dengan perlahan-lahan. Hingga warna larutan berubah menjadi kecoklatan. Kemudian larutan ditambahkan  $H_2O_2$  (Hidrogen Peroksida) sebanyak 5 ml dan pengadukan selama 30 menit hingga larutan mengalami perubahan menjadi warna kuning mengindikasikan dispersi *graphite oxide*. Larutan didiamkan selama semalam dan didapatkan endapan *graphite oxide*. Air endapan *graphite oxide* dibuang dan endapan dicuci beberapa kali menggunakan Aquabides hingga pH mendekati netral. dan disentrifugasi sehingga didapatkan pasta dan airnya. Pasta kemudian *dioven* pada suhu  $80^\circ C$  selama 7 jam. Didapatkan padatan *graphite oxide* kemudian dihaluskan dalam bentuk serbuk. Kemudian serbuk sebanyak 0.1 gram, 0.2 gram dan 0.3 gram ditambahkan ke dalam 40 ml aquades lalu diaduk selama 30 menit dan diultrasonifikasi selama 30 menit untuk pengelupasan lapisan-lapisan penyusun *graphite oxide* dan didapatkan dispersi *Graphene Oxide* dalam cairan.

#### b. Pembuatan PVA 10%

Sebanyak 2 gram Serbuk PVA ditambahkan dalam aquades sebanyak 20 ml kemudian dilakukan *stirer* pada suhu  $100^\circ C$  selama 2 jam.

#### c. Pembuatan Nanofiber PVA-GO

Sebanyak 2 ml GO ditambahkan ke dalam 20 ml larutan PVA dan diaduk dalam waktu 1 jam hingga keduanya menjadi homogen. Selanjutnya adalah proses elektrospinning yaitu larutan komposit PVA-GO yang homogen dimasukkan ke dalam syringe sebanyak 5 ml dengan jarak antara jarum dan *collector drum* yang dibungkus aluminium foil adalah 15 cm dan tegangan 20 kV serta laju alir yang tetap yaitu 1 ml/jam. Proses elektrospinning dilakukan selama 1 jam sehingga didapatkan nanofiber PVA-GO. Proses tersebut dilakukan juga pada larutan komposit PVA-GO dengan variasi GO yang berbeda.

### B. Variabel Operasional Penelitian

Konsentrasi PVA, parameter elektrospinning (jarak, tegangan, laju alir), waktu elektrospinning yang digunakan sebagai variabel kontrol. Variabel manipulasi adalah penambahan jumlah GO dan variabel respon adalah diameter rata-rata nanofiber, struktur morfologi, konduktivitas, porositas nanofiber dan stabilitas termal.

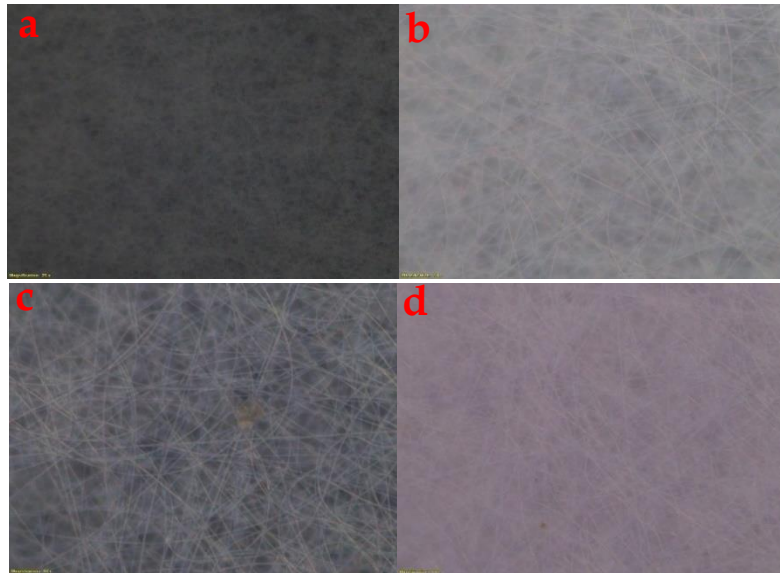
### C. Teknik Pengumpulan Data

Larutan PVA dan komposit PVA-GO yang sudah dibuat dilakukan proses elektrospinning. Nanofiber yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan Mikroskop Optik untuk mengetahui diameter dan morfologi awal nanofiber. Karakterisasi *Four Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengamati gugus fungsi suatu materi berdasarkan penyerapan bahan terhadap intensitas cahaya inframerah dan diamati dari bilangan gelombang  $4000-400\text{ cm}^{-1}$ , data FTIR diolah menggunakan *Software Origin2019*. Dilakukan uji *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui morfologi sampel dan mengetahui unsur yang terbentuk pada material komposit PVA-GO, data hasil SEM-EDX menggunakan *software Image-J* untuk mengetahui diameter *nanofiber* dan diolah menggunakan *software Origin*. Pengujian porositas nanofiber dilakukan dengan perendaman butanol, dan nilai porositas didapatkan dengan perhitungan. Pengujian stabilitas termal dilakukan untuk mengetahui perubahan permukaan membran akibat dari pemanasan. Pemanasan dilakukan pada suhu  $150^\circ C$  selama 30 menit. Pengujian EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*) dilakukan untuk mengetahui impedansi dan konduktivitas nanofiber, data yang diperoleh diolah menggunakan *software Origin* dan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai konduktivitas.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Mikroskop Optik

Hasil mikroskop optik dengan perbesaran 50 kali PVA-GO dapat terlihat pada gambar dibawah ini. **Gambar 3a** menunjukkan bahwa nanofiber PVA murni yang memiliki diameter rata-rata  $0,63 \mu\text{m}$ , pada nanofiber PVA 0,1 GO (**Gambar 3b**) memiliki diameter rata-rata sebesar  $0,52 \mu\text{m}$ . Nanofiber PVA-0,2 GO (**Gambar 3c**) memiliki diameter rata-rata  $0,65 \mu\text{m}$  dan nanofiber PVA-0,3 GO (**Gambar 3d**) memiliki diameter rata-rata  $0,70 \mu\text{m}$ .

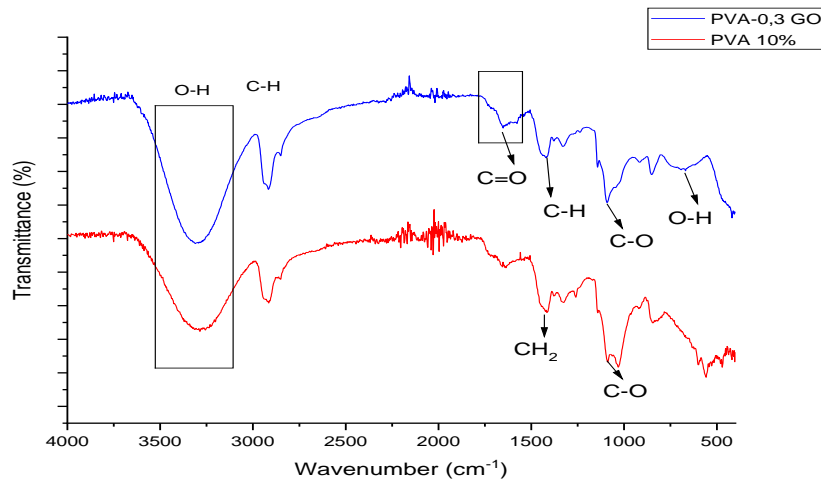


**Gambar 3.** Hasil Mikroskop optik dengan perbesaran 50 kali a). PVA 10 % b) PVA-0,1 GO c) PVA-0,2 GO d) PVA-0,3 GO

Dari hasil yang diperoleh dapat diketahui bahwa dengan adanya GO pada PVA mengakibatkan diameter nanofiber menjadi menurun. Penambahan GO menghasilkan nanofiber yang lebih tipis dan tidak saling menempel antar fiber dengan meningkatnya densitas muatan dalam jet polimer *electrospun*. Hal ini disebabkan oleh ekstra ion yang tersedia dalam larutan dengan penambahan GO. Penambahan ion tersebut yang meningkatkan densitas muatan dan mengakibatkan diameter nanofiber menurun (Shahizam, Z.A & Benoudjit, A.M. 2020). Namun saat terjadi peningkatan jumlah GO, diameter rata-rata nanofiber PVA-GO meningkat. Hal ini berhubungan dengan viskositas. Saat jumlah GO meningkat, viskositas larutan komposit juga meningkat sehingga menghasilkan diameter nanofiber lebih besar. Peningkatan viskositas terjadi karena ketika konsentrasi GO meningkat kuantitas komposit PVA-GO yang berinteraksi satu sama lain juga ditingkatkan (Marin et al., 2019). Menurut Yao et al., 2022 semakin banyak jumlah GO akan menyebabkan aglomerasi dan peningkatan diameter fiber karena energi permukaan yang tinggi. Cacat permukaan terlihat dengan munculnya beberapa *bead* pada nanofiber saat penambahan GO konsentrasi 0.2 dan 0.3. Terbentuknya *bead* pada nanofiber disebabkan ketidakstabilan kapiler jet cair yang disebabkan oleh tegangan permukaan pada larutan (Chen et al., 2020). Hal tersebut menunjukkan bahwa kandungan GO merupakan faktor penting untuk menentukan morfologi keseluruhan nanofiber.

#### FTIR (Four Transform Infrared Spectroscopy)

Pada **gambar 4** menunjukkan spektrum FTIR dari PVA dan PVA-0,3 GO. Spektrum FTIR PVA gugus O-H *stretch* terdeteksi pada  $3285 \text{ cm}^{-1}$  yang merupakan gugus *hidroxyl* yang disebabkan oleh frekuensi peregangan OH dari PVA dan air. Puncak  $2915 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1415 \text{ cm}^{-1}$  dan  $1088 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan getaran C-H *stretch*, CH<sub>2</sub> *bend* dan C-O *stretch*. Pada PVA-0.3 GO gugus O-H terdeteksi pada  $3310 \text{ cm}^{-1}$ . Puncak  $2916 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1651 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1420 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1091 \text{ cm}^{-1}$ , dan  $668 \text{ cm}^{-1}$  masing-masing menunjukkan C-H *stretch*, C=O *stretch* dari gugus fungsi *carboxyl* dan *carboxylic* yang ada di GO, C-H *bend*, C-O *stretch* yang dideteksi sebagai *epoxy* dari GO dan O-H *bend*. Spektrum FTIR dari nanofiber PVA dan nanofiber PVA-GO terlihat hampir sama. Adanya puncak pada  $1651 \text{ cm}^{-1}$  menegaskan adanya GO dalam komposit PVA-GO (Sharma et al., 2015).



**Gambar 4.** Grafik FTIR PVA dan PVA-0,3 GO

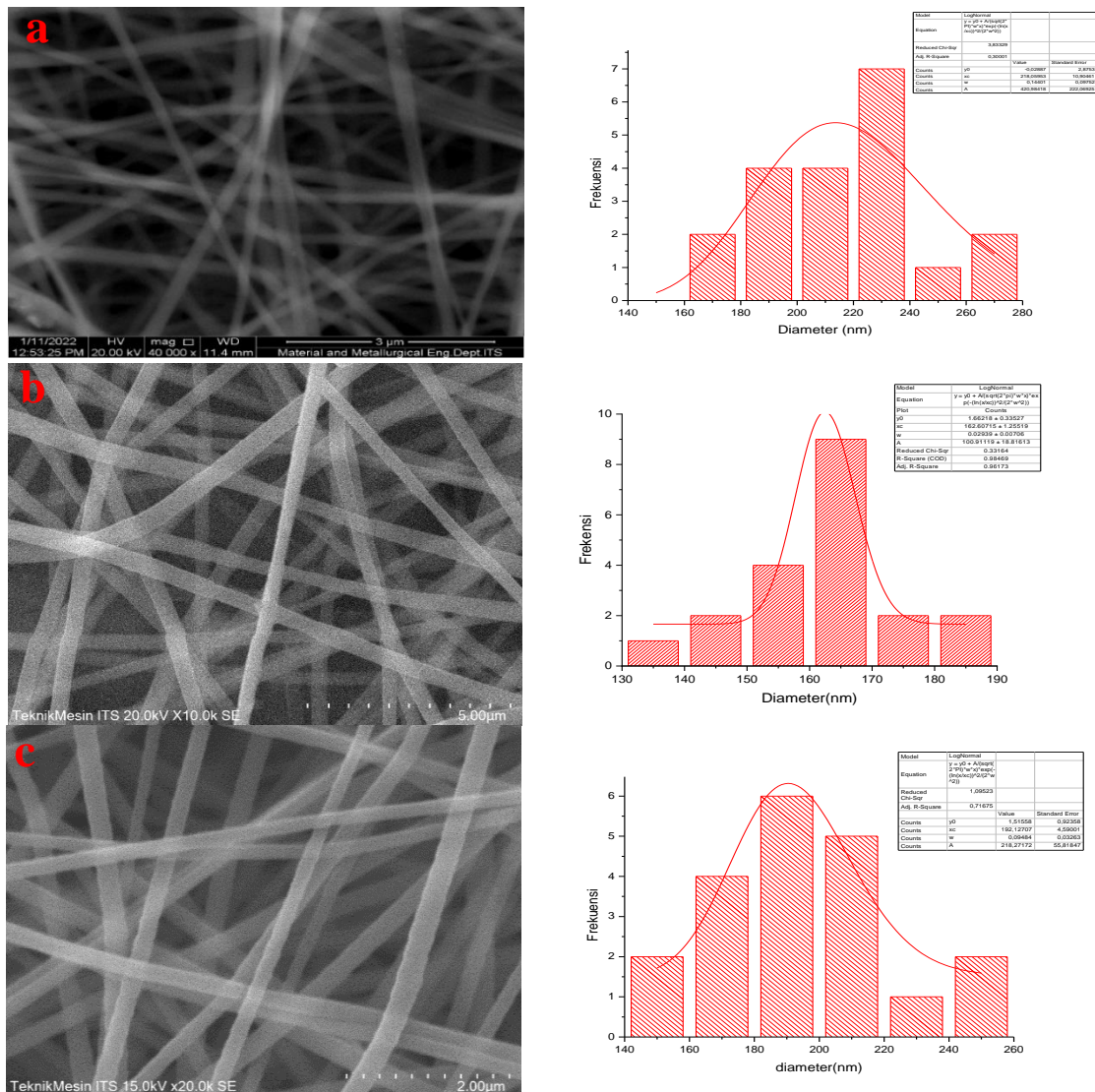
Pada spektrum FTIR PVA-0.3 GO, Gugus fungsi getaran O-H mengalami pergeseran bilangan gelombang. Hal ini disebabkan terjadinya ikatan hidrogen antara gugus fungsi oksigen yang terkandung dalam GO dan gugus Hidroksil pada rantai Molekul PVA (Luo et al., 2018; Loryuenyong et al., 2015). Penambahan GO berpengaruh pada struktur PVA, terlihat pada puncak gugus O-H PVA-GO memiliki puncak yang lebih kuat (Ma et al., 2016). Bilangan gelombang yang dihasilkan pada spektrum FTIR dari PVA dan PVA-GO pada **Gambar 4** dipadukan dengan data gugus literatur yang ada dalam tabel 1.

**Tabel 1.** Referensi Gugus Fungsi

Mateial	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Gugus Fungsi	Referensi	
PVA	3271	O-H stretch	(Sreeja et al.,2013)	
	2907	C-H stretch		
	1414	CH <sub>2</sub> bend		
	1087	C-O stretch		
		3381	O-H stretch	(Mohd Abdah et al., 2017)
		2929	C-H stretch	
		1429	C-O-H bend	
		1084	C-O stretch	
PVA/GO	3262	O-H stretch	(Lin et al., 2020)	
	2909	C-H stretch		
	1652	C=O stretch		
		2900	C-H stretch	(Mohd Abdah et al., 2017)
		1740	C=O stretch	
		1230	C-O stretch	
		1062	C-O epoxy	
		693	O-H bend	
		1710	C=O stretch	(Kundu et al., 2012)
		3424	O-H stretch	
		1060	C-O epoxy	
		3410	O-H stretch	(Tao et al.,2017)
1737		C=O Stretch		
1098		C-O epoxy		

**SEM (Scanning Electron Microscope)**

Hasil mikrograf SEM menunjukkan struktur morfologi dan distribusi diameter permukaan membran nanofiber PVA dan PVA-GO ditunjukkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. SEM-EDX a) PVA, b) PVA-0,1 GO, dan c) PVA-0,3 GO

Gambar 5a menunjukkan struktur morfologi nanofiber PVA yang mana halus dan seragam dengan diameter rata-rata 216 nm. Nanofiber PVA terlihat saling merekat satu sama lain. Gambar 5b nanofiber PVA-0,1 GO memiliki diameter rata-rata nanofiber 162 nm. Penambahan 0,1 GO mengakibatkan permukaan serat menjadi sedikit lebih kasar dan tidak lagi halus dan lurus namun dengan diameter yang menurun. Gambar 5c nanofiber PVA-0,3 GO memiliki diameter rata-rata 194 nm. Peningkatan penambahan GO membuat kekasaran permukaan serat semakin meningkat dengan diameter rata-rata yang meningkat pula. Sesuai dengan penelitian dari Wu H., 2022 penambahan GO pada PVDF mengakibatkan kekasaran permukaan serat meningkat seiring dengan peningkatan penambahan GO.

Penambahan GO dapat menurunkan diameter rata-rata nanofiber menjadi lebih kecil dibandingkan dengan PVA. Penambahan GO menghasilkan nanofiber yang lebih tipis dengan meningkatnya densitas muatan dalam jet polimer *electrospun*. Hal ini disebabkan oleh ekstra ion yang tersedia dalam larutan komposit dengan penambahan GO. Penambahan ion tersebut yang meningkatkan densitas muatan dan mengakibatkan diameter nanofiber menurun (Shahizam et al., 2020). Namun saat jumlah GO ditingkatkan, diameter nanofiber mengalami peningkatan. Hal ini berhubungan dengan viskositas. Saat jumlah GO meningkat, viskositas larutan komposit juga meningkat sehingga menghasilkan diameter nanofiber lebih besar. Ketika konsentrasi GO meningkat, kuantitas komposit PVA-GO yang berinteraksi satu sama lain ditingkatkan dan terjadi peningkatan viskositas (Marin et al., 2019).

Sama seperti penelitian dari Abdollahi et al., 2019 penambahan GO memiliki dua efek yang berbeda pada diameter nanofiber. Yang pertama peningkatan jumlah GO dapat meningkatkan konduktivitas elektrospinning. Peningkatan konduktivitas larutan menyebabkan penurunan diameter nanofiber. Yang

kedua mungkin juga meningkatkan diameter nanofiber. Hal tersebut dapat dijelaskan oleh efek dominasi antara konduktivitas dan viskositas. Jika efek pertama yang dominan maka diameter nanofiber akan menurun. Namun jika efek yang kedua lebih mendominasi maka diameter serat akan meningkat saat peningkatan penambahan GO. Penurunan diameter nanofiber dikaitkan dengan konduktivitas larutan dan peningkatan diameter nanofiber dikaitkan dengan viskositas larutan. Saat penambahan 0,1 GO efek konduktivitas lebih dominan dan 0,3 GO efek viskositas lebih dominan.

### Porositas nanofiber PVA-GO

Pengujian porositas dilakukan dengan merendam nanofiber PVA dan PVA-GO ke dalam larutan n-buthanol. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan afinitas elektrolit pada membran. Nilai porositas diperoleh dari persamaan 2, sehingga didapatkan nilai porositas seperti pada **Tabel 3**.

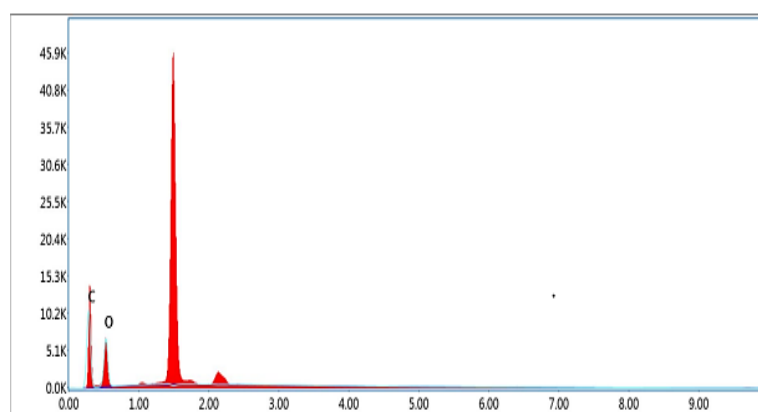
**Tabel 3.** Prosentase porositas separator komposit PVA-GO

Membran	Porositas (%)
PVA	44
PVA-0,1 GO	53
PVA-0,2 GO	47
PVA-0,3 GO	42

Penambahan GO pada PVA mampu meningkatkan porositas. Namun saat penambahan jumlah GO meningkat, porositasnya menurun. Hal ini dapat dikaitkan dengan diameter nanofiber. Semakin kecil ukuran fiber, mengakibatkan pori-pori berdiameter lebih kecil sehingga meningkatkan nilai porositas (Firdaus et al., 2022). Namun pada penelitian ini, saat meningkatnya jumlah GO menghasilkan diameter fiber lebih besar sehingga porositas menurun. Porositas yang rendah dapat menghambat kemampuan membran separator dalam transpor ion. Semakin besar porositas, maka semakin tinggi penyerapan elektrolit sebagai separator baterai (Firdaus et al., 2022). Begitu pula sebaliknya semakin kecil porositas suatu membran maka semakin rendah pula penyerapan elektrolit sebagai separator baterai. Porositas yang terlalu tinggi, akan membuat separator menjadi rapuh sehingga berpengaruh pada keamanan baterai, namun jika porositas terlalu kecil, elektrolit yang terisi dalam separator tidak memadai sehingga mengakibatkan berkurangnya konduktivitas ionik dan kinerja baterai (Chen et al., 2022). Sehingga porositas yang tepat diberikan untuk separator dalam menyimpan elektrolit yang memadai untuk mencapai transfer ionik yang tinggi (Chen et al., 2022). Porositas untuk separator yang ideal adalah ~40% (Arifin & Zainuri, 2014). PVA-0.3 GO memenuhi nilai porositas karena nilainya mendekati porositas ideal separator yaitu 42 %.

### (EDX) Energy Dispersive X-Ray

Untuk mengetahui unsur penyusun suatu bahan, dilakukan EDX hasil spektrum EDX nanofiber komposit PVA-GO dapat dilihat pada **Gambar 6**. Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa PVA-GO terdiri dari 2 unsur penyusun yaitu Karbon (C) dan Oksigen (O). Dari grafik didapatkan hasil seperti pada tabel 2.



**Gambar 6.** Grafik EDX PVA-GO



Dari **Tabel. 2** dapat diketahui bahwa PVA-GO terdiri dari 2 unsur penyusun yaitu Karbon (C) dan Oksigen (O). Berat karbon adalah 48 % dan Berat oksigen adalah 51,19 %. Menurut Literatur yang ada, GO terdiri dari unsur oksigen yang lebih banyak daripada unsur Karbon (Aragaw, 2020). Hal ini dikaitkan dengan gugus fungsi oksigen dalam GO (Mageed et al., 2016). Penambahan GO ke PVA akan mengakibatkan unsur oksigen meningkat dan unsur karbon menurun (Canbay, C.A., & Ünlü, N., 2021). Tidak adanya unsur lain menandakan bahwa PVA-GO bebas dari pengotor.

**Tabel 2.** Hasil EDX PVA-GO

Element	Weight (%)	Atomic (%)
C K	48.81	55.95
O K	51.19	44.05

### Stabilitas Termal

Pengujian tahan panas dilakukan untuk mengetahui ketahanan *nanofiber* saat dilakukan perlakuan panas. Hasil pengujian terlihat pada **Gambar 7**.

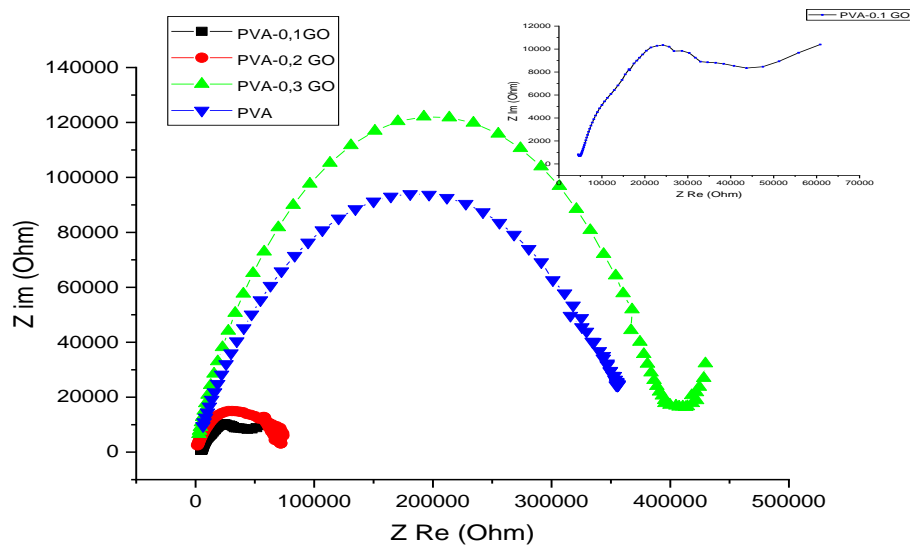


**Gambar 7.** Sifat tahan panas membran nanofiber PVA, PVA-0,1 GO, PVA-0,3 GO

Terlihat pada **Gambar 7**, saat PVA dipanaskan mengalami sedikit penyusutan karena suhu pemanasan mendekati titik leleh PVA yaitu 200°C. Penyusutan membran saat mendapat perlakuan menandakan ketidakstabilan suatu membran. Penyusutan membran sangat berbahaya bagi kinerja baterai lithium. Sedangkan pada PVA-0,1 GO dan PVA-0,3 GO tidak mengalami penyusutan yang signifikan menandakan bahwa nanofiber PVA-GO memiliki stabilitas termal yang baik. Interaksi antara rantai PVA dan lembaran graphene meningkatkan stabilitas termal PVA-GO yang disebabkan oleh ikatan hidrogen antarmolekul yang kuat dengan molekul PVA (gugus hidroksil) dan lembaran GO (Luo et al., 201). Kondisi ini menjadikan nanofiber PVA-GO sebagai kandidat yang baik untuk separator baterai.

### EIS (Electrochemical Impedance Spectroscopy)

*Nyquist* dari PVA, PVA-0,1GO, PVA-0,2 GO, dan PVA-0,3 GO ditunjukkan pada **Gambar 8**. *Semicircle* dari PVA-0,1 GO adalah yang paling kecil dibandingkan dengan PVA-0,2 GO dan PVA-0,3 GO yang memiliki *semicircle* yang lebih besar. Titik awal dari *semicircle* adalah (Re) Hambatan elektrolit dan diameter *semicircle* yang terbentuk adalah Hambatan *charge-transfer* (Rct). Diameter *semicircle* menentukan nilai konduktivitas ionik. Semakin kecil diameter *semicircle* menandakan nilai konduktivitas yang semakin tinggi. Hal tersebut karena kecilnya impedansi atau hambatan total sehingga mengakibatkan semakin sempit *semicircle* yang terbentuk (Ningsih, D.A & Supardi, Z.A.I., 2017) begitu pula sebaliknya.



Gambar 8. Grafik EIS PVA, PVA-0,1 GO, PVA-0,2 GO, dan PVA -0,3 GO

Nilai  $R_{ct}$  dari PVA adalah 356,20 k $\Omega$ . Kemudian saat penambahan 0,1 GO; 0,2 GO dan 0,3 GO nilai  $R_{ct}$  yaitu masing-masing nilainya adalah 39,84 k $\Omega$ ; 71.99 k $\Omega$  dan 392.05 k $\Omega$ . Saat 0,1 GO ditambahkan nilai  $R_{ct}$  menurun dan konduktivitas meningkat. Namun saat 0,2 GO mengalami peningkatan  $R_{ct}$  dan 0,3 GO mengalami peningkatan  $R_{ct}$  secara drastis pada 0,3 GO sehingga mengakibatkan konduktivitasnya menurunkan. Hal ini dikaitkan dengan porositas nanofiber PVA-GO. Porositas yang rendah akan menghambat kemampuan separator dalam transpor ion. Kecenderungan agregrasi GO pada konsentrasi yang tinggi atau dominasi efek penghalang juga dapat mengakibatkan impedansi meningkat sehingga konduktivitas ionik menurun (Wei et al., 2022). Setelah diketahui nilai  $R_{ct}$  dari masing-masing nanofiber maka konduktivitas ionik bisa dihitung menggunakan persamaan (1) dan diperoleh nilai konduktivitas ionik pada tabel 4.

Tabel 4. Konduktivitas Ionik PVA-GO

Membran	$\sigma$ (konduktivitas ionik) S/cm $\times 10^{-4}$
PVA	0,30
PVA-0,1 GO	2,66
PVA-0,2 GO	1,47
PVA-0,3 GO	0.27

Diketahui bahwa nilai konduktivitas ionik meningkat saat penambahan 0,1 GO dari  $0,30 \times 10^{-4}$  menjadi  $2,66 \times 10^{-4}$  S/cm. Namun menurun saat penambahan GO meningkat. Hal ini dikaitkan dengan efisiensi ion yang buruk saat terjadi saat peningkatan penambahan GO. Penambahan GO yang lebih banyak tidak efektif terhubung silang dengan rantai PVA. Sehingga ditumpuk dalam jaringan matriks PVA yang dapat menghambat transpor ion (Mishra et al., 2014).

Menurunnya konduktivitas saat peningkatan penambahan GO kemungkinan karena efek dominasi penghalang atau kecenderungan agregrasi pada jumlah GO yang lebih tinggi (Wei et al., 2022). Peningkatan jumlah GO tidak selalu meningkatkan konduktivitas tetapi komposisi yang optimal akan menjaga konduktivitas dan stabilitasnya (Kurniawan et al., 2018). Nanofiber PVA-0,1 GO adalah optimal karena memiliki konduktivitas ionik paling besar dan resistansi paling rendah. Karena konduktivitas berbanding terbalik dengan resistivitas. Berdasarkan konduktivitas ionik yang diperoleh, Nanofiber PVA-GO memenuhi syarat sebagai separator karena nilai konduktivitas berada diantara ( $10^{-7}$ - $10^{-3} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ) (Nurhadini., 2021)

#### IV. PENUTUP

##### A. Simpulan

Nanofiber PVA-GO telah dibuat dengan metode elektrospinning dengan menambahkan GO ke dalam polimer PVA. Penambahan GO pada PVA mampu menghasilkan nanofiber dengan porositas yang memadai, konduktivitas meningkat dan stabilitas termal yang baik. Namun penambahan GO yang meningkat mengakibatkan menurunnya porositas, dan konduktivitas. PVA-0,3 GO memiliki porositas yang mendekati porositas separator yang ideal namun dengan konduktivitas yang rendah sedangkan PVA-0.1 GO memiliki nilai porositas terbesar dan konduktivitas ionik yang tinggi. Dari hasil karakterisasi yang telah dilakukan, nanofiber PVA-GO dengan berbagai konsentrasi GO memenuhi karakteristik sebagai separator. Sehingga nanofiber PVA-GO dapat menjadi kandidat yang menjanjikan sebagai separator baterai litium ion.

##### B. Saran

Untuk penelitian selanjutnya diharapkan melakukan pengujian pada nanofiber lebih lanjut seperti uji tarik, dan uji termal TGA dan DTA sehingga nanofiber yang dihasilkan lebih optimal sebagai separator baterai Lithium Ion.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Armand, M., & Tarascon, J.M. (2018). Building Better Batteries. *Nature*, 451, 652-657
- Abdollahi, S., Ehsani, M., Morshedian., Khonakdar, H.A., & Aram, E. (2019). Application of Response Surface Methodology in Assessing the Effect of Electrospinning Parameters on the Morphology Polyethylene Oxide/Polyacrylonitrile Blend Nanofibers Containing Graphene Oxide. *Polymer Bulletin*. 76:1755-1773. doi: <https://doi.org/10.1007/s00289-018-2448-1>
- Ahmad, A.L., Farooqui, U.R., & Hamid, N.A. (2018). Effect of graphene oxide (GO) on Poly (vinylidene fluoride-hexafluoropropylene) (PVDF- HFP) polymer electrolyte membrane. *Polymer*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2018.03.052>
- Aragaw, B.A. (2020). Reduced Graphene Oxide-Intercalated Graphene Oxide Nano-Hybrid for Enhanced Photoelectrochemical Water Reduction. *Journal of Nanostructure in Chemistry*. 10. 9-18
- Arifin, D.E.S., & Zainuri, M. (2014). Karakterisasi Sifat Separator Komposit PVDF/poli (dimetiloksan) Dengan Metode Pencampuran Membran (*Blending Membrane*). *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. Vol. 3, No. 2. 2337-3520
- Basha, S.S.K., Kumar, K.V., Sundari, G.S., & Rao, M.C. (2018). Structural and electrical Properties of Graphene Oxide-Doped PVA/PVP Blend Nanocomposite Polymer Films. *Hindawi: Advances in Materials Science and Engineering*. doi: <https://doi.org/10.1155/2018/4372365>
- Canbay, C.A., & Ünlü, N. (2021). Production and Characterization of shape Memory Polymeric Nanocomposite Materials. *Journal of Molecular Structure*. 1227, 129708. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mulstruc.2020.129708>
- Carli, M. D., D. C. Mariasole, F.D., Maria, A., Annalisa, D.S., Livia, R., Antonio, F., Eloisa, A., & Rodolfo, P.P. (2019). Electrospinning Nanofibers as Separators for Lithium-Ion Batteries. *AIP conference Proceedings* 2145, 020009. doi: <https://doi.org/10.1063/1.5123570>
- Castell, O.G., Alfaro, D.G., Ballester, S.S., Juanes, R.T., Badia, J.D., & Greus, A.R. (2019). Crosslinked Sulfonated Poly (vinyl alcohol)/Graphene Oxide Electrospun Nanofibers as Polyelectrolytes. *Nanomaterials*. 9, 397
- Chen, K., Li, Y., & Zhan H. (2022). Advanced separators for Lithium-Ion Batteries. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 1011-012009. doi: <https://doi.org/10.1017/1755-1315/1011/1/012009>
- Chen, Z., Jiang, Y., Xin, B., Jiang S., Liu, & Y., Lin, L. (2020). Electrochemical analysis of conducting Reduced graphene oxide Polyaniline/Polyvinyl Alcohol Nanofiber as supercapacitor electrodes. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31, 5958-5965. doi: <https://doi.org/10.1007/s10854-020-03204-1>
- Cui, Xu., Guo, J., Araby, S., Abbassi, F., & Zhang, C. (2022). Porous polyvinyl alcohol/graphene oxide composite film for strain sensing and energy-storage applications. *Nanotechnology*, 33, 415701. Doi: <https://doi.org/10.1088/1361-6528/ac7b35>
- Dong, G.X., Li G., Li, H., Li, Y. Wang, W., Jiang, W., Z., & Ma, S. (2021). Electrospun PAN/cellulose Composite Separator for High Performance Lithium-Ion Battery. *Ionic*. 27: 2955-2965. doi: <https://doi.org/10.1007/21151-021-04073-2>

- Firdaus I., Simon, S., Junaidi., Johandra A., Rifansyah T.B.I., & Putra, O.A. (2022). Sintesis dan Karakterisasi Nanofiber Komposit PVA/SiO<sub>2</sub> dari Silika Sekam Padi menggunakan Metode Elektrosprising. *Indonesian Journal of Applied Physics (IJAP)* Vol. 12 No. 1 halaman 116
- Gahlot, S, Kulshrestha, V., Agawal, G., & Jha P. K. (2015). Synthesis and Chacarcterization of PVA/GO Nanocomposite Film. *Macromol symp.* 357. 173-177
- Kundu A., Rama, K., Layek., Kuila, A., & Nandi, A.K. (2012). Highly Fluorescent Graphene Oxide-Poly (vinyl alcohol) Hybrid: An Effective Material for Spesific Au<sup>3+</sup> Ion Sensor. *ACS. Publication: Applied Material and Interfaces.* 4,5576-5582
- Kurniawan, M.A., Mubaroq, N., Nuke, T.S., Apriani, Y., & Zamzamie, M.S. (2018). Composites Films Conductivity of Polyvinyl Alcohol/Graphene Oxide with Electrical Properties. *AIP Conference Proceeding* 2026, 020093. doi: <https://doi.org/10.063/1.5065048>
- Lagadec, M.F., Zhan, R., & Wood V. (2019). Characterization and Performance Evaluation of Lithim-Ion Battery Separators. *Nat Energy* 4,16-25. doi: <https://doi.org/10.103/241560-018-0295-9>
- Lee, H., Alcotlabi, M., Watson J.V., & Zhang X. (2013). Electrospun Nanofiber-Coated Separator Membranes for Lithium-Ion Rechargeable Batteries. *Journal of Aplied Polymer Science*, 129. 1939-1951. doi: <https://doi.org/10.1002/app.394>
- Li, J., Tian, W., Yan, H., He, L., & Tuo, X. (2016). Preparation and Performance of Aramid Nanofiber membrane for Separator of Lithium Ion Battery. *Journal of Applied Polymer Science*, 43623.1-8. doi: <https://doi.org/10.1002/app.43623>
- Lin, D., Wu, Z., Huang, Y., Wu, J., Li, C., Qin W., Wu, D., & Li, S. (2020). Physical, Mechanical, Structural and Antibacterial Properties of PolyvinylAlcohol/Oregano Oil/ Graphene Oxide Composite. *Journal Polymer and Environment.* 28:63-646. doi: <https://doi.org/s10924-019-01627-4>
- Liu H., & Zelo B. (2020). Sound Absorption Property of PVA/PEO/GO Nanofiber Membrane and Non-woven Composite Material. *Juornal of Insustrial Textiles.* 50 (4) 512-525
- Loryuenyong, V., Saewong, C., Aranchaiya, C., & Buasri, A. (2015). The Improvement in Mechanical and Barrier Properties of Poly (Vinyl Alcohol) Graphene Oxide Packaging Films. *Packg.Technol.Sci.* 2:939-947. doi: <https://doi.org/10.1002/pts.2149>
- Luo, Q., Shan, Y., Zuo, X., & Liu, J. (2018). Anisotropic tough poly(vinyl alcohol)/graphene oxide nanocomposite hydrogels for potential biomedical applications. *RSC Advances*, 8(24), 13284-13291. <https://doi.org/10.1039/c8ra00340h>
- Ma, J., Li, Y., Yin, X., Yu, X., Yue J., Bao, J., & Zhou., T. (2016). Poly (vinyl Alcohol)/Graphene Oxide Nanocomposites Prepared by In Situ Polymerization with Enhanced Mechanical Properties and Water Vapor Barier Properties. *RSC Advances.*, 49448-49458. doi: <https://doi.org/10.1039/c6ra0876>
- Mageed, A.K., Radiah. A.B.D., Salmiaton, A., Izhar, S., Razak, M.A., Yusoff, H.M., Yasin, F. M., & Kamarudin, S. (2016). Preparation and Characterization of Nitrogen Doped Reduced Graphene Oxide Sheet. *International Journal of Applied Chemistry.* Vol 1 No.1.
- Marin, J.A.T., Londoño, S.R., Delgado, J., Poras, D.P.N., Zapata, M.E.V., Hernandez, C.H.V., & Tovar, C.D.G. (2019). Biocompatible and Antimicrobial Electrspun membrans Based on Nanocomposites of Chtoosan/Poly (Vinyl Alcohol)/Graphene Oxide. *International Journal of Moleclar Sciences*, 20,2297. doi: <https://doi.org/103390/ijms20121987>
- Mishra, A.K., Kim, N.H., Jung, D., & Lee, J. (2014). Enhanced mechanical Properties and Proton Conductivity of Nafion-SPEEK-GO Composite Membran for Fel Cell Application. *Elsevier: Journal of Membrane Science.* 45. 12-135
- Mohd Abdah, M.A.A., Zubair, N., Azman, N.H.N., & Sulaiman, Y. (2017). Fabrication of PEDOT coated PVA-GO Nanofiber for Supercapacitor. *Materials Chemistry and Physics.* doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2017.01.058>
- Narsiti, P.E., & Hidayati, N. (2020). Pembuatan dan Karakterisasi Membran Komposit sPEEK-PVA dengan Bahan isian Grafena Oksida untuk Sel Bahan Bakar Metanol. *Eksergi.* Vol. 7 No.2
- Ningsih D.A., & Supardi, Z.A.I. (2017). Coating Sodium Carbonate pada Anoda Reduced Graphene Oxide (r-GO) untuk Baterai Lithium-Ion. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI).* Vol. 06 No. 3 Hal:123-127
- Nurhadini, Febiani, V. A., Putri, M.A., & Lestari, I. (2021). Analisis Konduktivitas dan Termal pada Polimer Elektrolit dari Kitosan/Gliserol/LiClO<sub>4</sub> untu Aplikasi Baterai Litium. *Chem Prog.* Vol. 14 No.1
- Priyono, S., Sari, T.D., Ramlan, Subhan A., and Prihandoko, B. (2019). Effect of Polymer Binders on the Electrochemical Performance of Al-doped lithium Titanate Electrode. *Journal of Physics: Conf. Series* 1282. 012056. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1282/1/012056>

- Putri, A.N., & Munasir. (2020). Review: Fabrikasi Membran Berbasis Nanofiber dengan Metode *Electrospinning*. Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI), Vol. 9 No.02, hal. 47-55
- Qin, P., Ningjun, T., Nanfei, H., Yixin L., Eunkyong, S., Behnam, P., & Wei G. (2018). Electrospun Mat of Polyvinyl Alcohol/Graphene oxide for Superior Electrolyte Performance. ACS: Applied Materials and Interfaces. 10, 9, 7927-7934. doi: <https://doi.org/10.1021/acsami.7b14498>
- Sari R., Cut, D.M., Teuku, R., Dewi, R., & Hakim, L. (2022). Pembuatan Grafena dengan Metode Reduksi *Graphene Oxide* Menggunakan Bahan Baku Grafit dan Reduktor Natrium Hipoposfit. *Serambi Engineering*. Volume VII No.2
- Shahizam, Z.A & Benoudjit, A.M. (2020). Morphology of electrospun PVA Nanofibers Enhanced with Graphene Oxide, Pol(3,4-ethylenethiophene): Polystyrene Sulfonate (PEDOT: PSS) and multiwalled carbon nanotubes. *Exp. Theo. NANOTECHNOLOGY* 4, 239-252
- Sharma, S.K., J. Prakash, J., P.K., & Pujari, P.K. (2015). Effects of the Molecular Level Dispersion of Graphene Oxide on the Volume Characteristics of Poly (Vinyl Alcohol) and its Impact on the Thermal and Mechanical Properties of Their Nanocomposites. *Physical Chemistry Chemical Physics* 17,29201-29209. doi: <https://doi.org/10.1039/c5cp05278>
- Sreeja, S., Smijesh, N., Philip, R., & Muneera, C.I. (2013). Organic Dye Impregnated Poly (vinyl Alcohol) Nanocomposite as an Efficient Optical Limiter: structure Morphology and Photophysical Properties. *Journal of Materials Chemistry C*. doi: <https://doi.org/10.1039/C3TC30427B>
- Tao, C., Zhang, H., Fang, W., Hui, Z., Xiaorong, Z., & Jianfang, W. 2017. Mechanical Properties of Graphene Oxide/polyvinyl alcohol Composite Film. *Polymers & Polymer Composites*. Vol 25, No. 1.
- Tili, I., & Alkanhal, A. (2019). Nanotechnology for water purification: Electrospun nanofibrous membrane in Water and Wastewater Treatment. *Journal of Water Reuse and Desalination*. Vol. 9 (3), 232-247. doi: <https://doi.org/10.2166/wrd.2019.057>
- Uddin, Md. J., Udin., Alaboina, P.K., Zhang, L., & Cho, S. (2017). A low Cost, Environment-Friendly Lignin-Polyvinyl Alcohol Nanofiber Separator using a ater-based method for safer dan faster Lithium-Ion Batteries. *Material Science and Engineering B*. 223, 4-90. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2017.05.004>
- Wei, J., Wang, R., Pan, F., & Fu, Z. (2022). Polyvinyl Alcohol/Graphene Oxide hydrogels via The Synergy Freezing and Salty Ot for Strain Sensors. *MDPI: Sensors*. 22, 3015. Doi: <https://doi.org/10.3390/s22083015>
- Wu, H. (2022). Electrospun Graphene Oxide (GO)/Polyvinylidene flfluoride (PVDF) nanofiber Separator for Lithium-ion. *Journal of Optoelectronics and Materials*. Vol. 24, No.1-2. Hal.82-87
- Yao H., Tian, H., Xiang A, Ma S., Yin, D., & Rajulu A.V. (2022). Fabrication of PVA/GO Nanofiber Film by Electrospinning: Aplication for Adsorption of Cu<sup>2+</sup> and Organic Dyes. *Journal of Polymers and the Environment*. 30 .2964-2975
- Zhu, J., Chen, C., Lu, Y., Zang J., Jiang, M., Kim, D., & Zhang X. (2016). Highly Poros Polyacrylonitrile/Graphene Oxide Separator Exhibiting Excellent Anti-self-discharge Featre for High-Performance Lithium-Sulfur Bateries. *Carbon*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2016.02.007>
- Zubair, N. A., Rahman, N.A., Lim, H.N., & Sulaiman, Y. (2017). Production of Conductive PEDOT-Coated PVA-GO Composite Nanofibers. *Nanoscale Research Letters*. 12:113