

Membran Polimer Elektrolit dari Selulosa Asetat Tandan Kosong Kelapa Sawit dan TiO₂ dengan Metode Spin Coating untuk Aplikasi Separator Baterai Lithium

Dhea Ismaliyah*, Delovita Ginting, dan Romi Syahputra
Universitas Muhammadiyah Riau, Pekanbaru, Indonesia
*delovita@umri.ac.id

OPEN ACCESS

Citation: Dhea Ismaliyah, Delovita Ginting, dan Romi Syahputra. 2024. Membran Polimer Elektrolit dari Selulosa Asetat Tandan Kosong Kelapa Sawit dan TiO₂ dengan Metode Spin Coating untuk Aplikasi Separator Baterai Lithium. *Journal of Research and Technology* Vol. 10 No. 2 Desember 2024: Page 153–164.

Abstract

The separator in a lithium-ion battery plays a crucial role in preventing direct contact between the positive and negative electrodes, which can cause a fire hazard. This research was conducted by proposing the use of empty oil palm fruit bunches (EFB), a natural source rich in cellulose, to produce cellulose acetate which is applied as a basic material in the manufacture of electrolyte polymer membranes. This membrane is integrated into the battery as a separator that doubles, not only as a physical barrier but also as a transport medium between the anode and cathode. This research is an experiment with a single factor design whose variables involve a combination of polyvinylidene fluoride (PVDF), cellulose acetate (CA), and titanium dioxide (TiO₂) with different compositions: PVDF (2.8%:0%), PVDF:CA (2.8%: 12%), and three variations of PVDF:CA:TiO₂ (with TiO₂ concentrations of 0.75%, 0.65%, and 0.55%). Data collection methods include physical tests (porosity, thickness, and cyclic voltammetry), mechanical tests (tensile strength and biodegradability), as well as morphological observations using Scanning Electron Microscopy (SEM, Hitachi TEM 3000 Series). Analysis shows that the membrane with the composition PVDF:CA:TiO₂ (2.8%:12%:0.75%) has optimal mechanical properties, the best tensile strength of 61.8854 MPa and the highest porosity of 57%. The addition of TiO₂ and cellulose acetate not only increases mechanical strength and porosity but also accelerates the biodegradability process with a weight reduction of up to 68% making it effective as a separator in lithium-ion batteries.

Keywords: Electrolyte Polymer Membrane, Lithium ion Battery, Palm Oil Empty Bunches, Cellulose Acetat, Titanium dioxide (TiO₂).

Abstrak

Separator dalam baterai litium-ion memegang peran krusial dalam mencegah kontak langsung antara elektroda positif dan negatif, yang dapat menyebabkan bahaya kebakaran. Penelitian ini dilakukan dengan mengusulkan penggunaan limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS), sumber alami

yang kaya selulosa, untuk menghasilkan selulosa asetat yang diaplikasikan sebagai bahan dasar dalam pembuatan membran polimer elektrolit. Membran ini diintegrasikan ke dalam baterai sebagai pemisah yang berfungsi ganda, tidak hanya sebagai penghalang fisik tetapi juga sebagai media transportasi antara anoda dan katoda. Penelitian ini merupakan eksperimen dengan desain satu faktor yang variabelnya melibatkan kombinasi polivinilidena fluorida (PVDF), selulosa asetat (CA), dan titanium dioksida (TiO_2) dengan komposisi berbeda: PVDF (2.8%:0%), PVDF:CA (2.8%: 12%), dan tiga variasi PVDF:CA: TiO_2 (dengan konsentrasi TiO_2 0.75%, 0.65%, dan 0.55%). Metode pengumpulan data meliputi uji fisik (porositas, ketebalan, dan voltametri siklik), uji mekanis (kekuatan tarik dan biodegradabilitas), serta pengamatan morfologi menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM, Hitachi TEM 3000 Series). Analisis menunjukkan bahwa membran dengan komposisi PVDF:CA: TiO_2 (2.8%:12%:0.75%) memiliki sifat mekanis optimal, kekuatan tarik terbaik 61.8854 MPa dan porositas tertinggi 57%. Penambahan TiO_2 dan selulosa asetat tidak hanya meningkatkan kekuatan mekanis dan porositas tetapi juga mempercepat proses biodegradabilitas dengan penurunan berat hingga 68% menjadikannya efektif sebagai separator dalam baterai lithium-ion.

Keywords: Membran Polimer Elektrolit, Baterai ion lithium, Tandan Kosong Kelapa Sawit, Selulosa Asetat, Titanium Dioksida (TiO_2).

1. Pendahuluan

Munculnya baterai lithium-ion (Li-ion) telah merevolusi penyimpanan energi, menawarkan kinerja dan efisiensi tinggi. Meskipun demikian, tantangan dalam pengelolaan panas sangat berdampak pada keandalan, keamanan, dan daya tahan baterai (Sudibyo et al., 2023). Pentingnya kontrol suhu baterai untuk keselamatan dan kinerja telah mendorong banyak eksperimen dan simulasi untuk mempelajari evolusi suhu baterai (Chen et al., 2023). Meskipun digunakan secara luas, pemisah poliolefin tradisional mengalami penyusutan panas yang buruk dan perilaku pembasahan yang tidak seragam (Lee et al., 2023).

Menanggapi tantangan ini, separator berbasis Selulosa Asetat (CA) telah muncul sebagai solusi, mengatasi keterbatasan separator tradisional dan meningkatkan kinerja baterai lithium-ion. Beberapa penelitian menyebutkan membran separator berbasis nanofibril selulosa telah diusulkan karena jumlahnya yang melimpah di alam dan sifat biodegradasinya (Gou et al., 2020). Pemisah CA dikenal karena kualitas termal, konduktivitas, keberlanjutan, kemampuan beradaptasi, keseimbangan keselamatan, efisiensi, dan kebutuhan kinerjanya. Bahan selulosa memiliki kekuatan mekanik yang tinggi karena struktur linear dan gugus hidroksilnya dengan ikatan hidrogen dan gaya *van der Waals*. Kekuatan ikatan dari selulosa menjanjikan membran

polimer elektrolit dengan kekuatan mekanik yang baik dan sifat *biodegradable* (Zhang et al., 2023). Selulosa asetat dapat diperoleh dari sintesis kimiawi tandan kosong kelapa sawit (OPFEB) (Saiful et al., 2022). OPFEB merupakan limbah padat terbesar dibandingkan limbah padat lainnya di pabrik kelapa sawit. OPFEB yang sudah dimanfaatkan baru sebanyak 10% untuk bahan bakar boiler maupun kompos, dan sisanya masih menjadi limbah (Kustiyah et al., 2022). Pendekatan ini tidak hanya memanfaatkan sumber daya yang berkelanjutan tetapi juga bertujuan untuk meningkatkan sifat pemisah. Pemisah selulosa tradisional dikenal dapat meningkatkan transfer ion melalui masuknya pori-pori. Mereka menghadapi keterbatasan dalam mencapai nilai konduktivitas ionik yang optimal (Lizundia et al., 2020).

Penelitian ini memperkenalkan pemisah komposit berbasis selulosa berlapis TiO_2 untuk mengatasi keterbatasan pemisah selulosa tradisional dalam mencapai nilai konduktivitas ionik yang optimal (Haider et al., 2019). Lapisan keramik ini meningkatkan stabilitas dan konduktivitas termal pemisah poliolefin, sehingga meningkat keamanan dan efisiensi baterai (Khassi et al., 2020). Lapisan TiO_2 mengurangi kenaikan suhu sebesar 20% dan menawarkan stabilitas termal, sifat mekanik, dan penyerapan cairan yang lebih baik dibandingkan separator komersial. Ini juga meningkatkan ketahanan terhadap penyusutan termal, oksidasi, dan tusukan, sehingga menghasilkan baterai yang lebih aman dan efisien (Wang et al., 2022). Penelitian ini menggunakan metode *Spin coating* untuk memproduksi lapisan dari bahan polimer yang dideposisikan pada permukaan silikon dan material lain yang berbentuk datar. Metode ini telah digunakan untuk mengaplikasikan membran elektrolit polimer pada baterai lithium. Karena proses yang sederhana dan kualitas yang baik dari film tipis. *Spin coating* umumnya menghasilkan film yang tipis ($>60 \mu\text{m}$). Keunggulan dari *spin coating* menghasilkan keseragaman pada setiap variasi sampel (Abdelghani et al., 2022). Berdasarkan Penelitian yang telah dilakukan oleh Nurhadini (2018) menghasilkan tegangan 0,05 MPa, regangan 14,23 MPa dan Modulus Young 0,35 MP. Membran polimer elektrolit ini masih memiliki ketahanan termal dan mekanik yang rendah. Penelitian Cheng (2020) menemukan bahwa dengan penambahan doping TiO_2 pada fabrikasi membran polimer elektrolit baterai lithium menghasilkan kapasitas penyimpanan muatan yang sangat tinggi pada laju arus tinggi. Menggabungkan doping anorganik mekanik tetapi juga memperluas peluang elektrokimia dan meningkatkan kinerja siklus baterai penuh (Wang et al., 2022). Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan membran elektrolit polimer yang memiliki konduktivitas ionik tinggi dengan memanfaatkan TKKS menjadi sumber selulosa asetat, menambahkan doping TiO_2 pada pembuatan membran polimer elektrolit separator lithium berbahan PVDF dengan metode *spin coating* yang terbukti merupakan metode penumbuhan lapisan tipis yang seragam.

2. Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Berbagai peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Grinding Machine*, ayakan 60 Mesh, labu leher tiga, *hot plate*, desikator, neraca digital, pipet tetes, *Magnetic Stirrer*, *Spin Coating*, pisau casting, batang pengaduk, gelas ukur, oven, ultrasonikasi, substrat kaca, bak koagulasi, penangas aquades, cawan petri.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), NaOH 2%, NaOCl 1%, H₂SO₄ 72%, NaOH 17,5%, Aquades, Asam Asetat Glasial, Anhidrida Asetat, Natrium Asetat, Titanium dioksida (TiO₂), DMAc, *Polyvinylidene fluoride* (PVDF)

2.2 Preparasi Tandan Kosong Kelapa Sawit

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari perkebunan kelapa sawit PT. SIR, Kabupaten siak, Riau. Preparasi TKKS dilakukan terlebih dahulu dengan membersihkan TKKS menggunakan air mengalir. TKKS dijemur hingga kadar air maksimal 10%. TKKS kering digiling dengan greending machine dan diayak hingga diperoleh serbuk lolos ayakan 60 mesh (Ginting, Duma, et al., 2023)

2.3 Proses Ekstraksi TKKS

Sampel dari hasil preparasi selanjutnya dilakukan proses ekstraksi melalui tahapan delignifikasi dan bleaching. Proses delignifikasi bertujuan untuk menghilangkan kandungan lignin yang terikat di serat tandan kosong kelapa sawit (Faizal et al., 2022). Serbuk halus TKKS sebanyak 25 gram dan NaOH 2% (w/v) dimasukkan ke dalam labu leher tiga untuk direfluks pada suhu 90°C selama 3 jam. Campuran disaring dan filtrat direaksikan dengan H₂SO₄ 72% (v/v) untuk dilakukan uji lignin. Gumpalan yang terbentuk setelah filtrat direaksikan dengan H₂SO₄ 72% (v/v) menandakan masih terdapat lignin pada serat. Residu dilarutkan kembali dengan larutan NaOH 2% (w/v) pada suhu 90°C selama 1 jam hingga bebas lignin. Residu yang telah bebas lignin direfluks dalam larutan NaOCl 1% dan 1 g NaOH dengan perbandingan 100:1 (v/w) pada suhu 70°C selama 1 jam untuk dilakukan pemutihan. Campuran disaring dan residu direndam dalam 100 mL larutan NaOH 17,5% selama 30 menit. Residu yang tidak larut dalam NaOH 17,5% menandakan terbentuknya selulosa. Campuran disaring kembali dan dicuci dengan aquades hingga pH netral. Residu diletakkan di cawan petri dan dikeringkan menggunakan oven selama 90 menit pada suhu 105°C. Residu didinginkan dalam desikator dan ditimbang massanya (Darmawan et al., 2018; Nurhadini & Arcana, 2018).

2.4 Proses Sintesis TKKS

Hasil ekstrak selulosa dari TKKS disintesis dalam tiga tahap, yaitu tahap aktivasi, tahap asetilasi, dan tahap hidrolisis. Tahap aktivasi dilakukan dengan mereaksikan 2 gram selulosa hasil isolasi dengan 50 mL asam asetat glasial dalam tabung erlenmeyer berukuran 250 mL. Campuran diaduk dengan magnetic *stirrer* pada kecepatan 125 rpm selama 3 jam. Tahap asetilasi dilakukan dengan menambahkan 15 mL Asam asetat anhidrida, dan 3 tetes asam sulfat pekat untuk diaduk kembali pada suhu 25°C selama 2,5 jam. Tahap hidrolisis dilakukan dengan menambahkan 2 mL aquades dan 5 mL asam asetat glasial untuk direaksikan kembali selama 30 menit. Natrium asetat sebanyak 1 gram ditambahkan ke dalam larutan dan proses ditunggu selama 5 menit. Larutan berwarna gelap yang terbentuk disaring dan dicuci dengan aquades hingga bau asam asetat hilang. Selulosa asetat yang diperoleh dikeringkan dengan oven pada suhu 100°C selama 1 jam. Selulosa asetat yang terbentuk dianalisa gugus fungsi menggunakan

analisa FTIR (Darmawan et al., 2018). Selulosa asetat TKKS yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Selulosa Asetat Hasil Sintesis

2.5 Proses Pembuatan Membran Polimer Elektrolit (MPE)

Pembuatan membran dimulai dengan melarutkan 0,75 g TiO_2 dengan 21 mL DMAc dan *distirrer* selama 30 menit. PVDF dan selulosa asetat ditambahkan kedalam campuran dan *distirrer* kembali hingga larutan homogen pada suhu 70°C dengan perbandingan konsentrasi terdapat pada Tabel 2. Setelah semua bahan *distirrer*, selanjutnya dilakukan ultrasonikasi selama 30 menit pada suhu 30°C kemudian didiamkan selama 12 jam. Selanjutnya proses pencetakan membran dengan menggunakan *spin coating*. Larutan PVDF, PCA, PCA: TiO_2 1, PCA: TiO_2 2, PCA: TiO_2 3 dimasukkan kedalam *spin* untuk disalurkan ke substrat kaca yang telah dibersihkan, yang kemudian diletakkan pada bagian atas unit *spin coater* dan diputar dengan kecepatan 3000 rpm selama 10 menit untuk menguapkan pelarut. Kemudian direndam dalam bak koagulasi yang berisi campuran DMAc dan aquades dengan perbandingan 1:4 selama 30 detik dengan tujuan untuk memisahkan lembaran MPE dari substrat kaca. Langkah selanjutnya adalah merendam kembali lembaran MPE dalam aquades selama 48 jam. Selanjutnya lembaran MPE dikeringkan dalam pada oven suhu 70°C selama 12 jam (Munawaroh et al., 2019).

Membran Polimer Elektrolit dilakukan pengujian yaitu uji porositas dilakukan untuk mengetahui kemampuan penyerapan membran terhadap suatu larutan. Porositas juga dapat menggambarkan hidrofilitas membran terhadap air (Ariadi Lusiana et al., 2021). Uji ketebalan dan uji *Cyclic-Voltametry* (CV) untuk menganalisis nilai konduktivitas ionik membran. Uji kuat tarik dilakukan untuk mengetahui kemampuan membran dalam menahan tegangan maksimum (tension) ketika membran diberi beban (Alvianto et al., 2022) dengan menggunakan alat L&W *Tensile Tester*. Uji kuat tarik dilakukan dengan mengikuti (ATSM D638-02a-2002). Sampel dipotong dengan ukuran 2 x 10 cm, kemudian dikaitkan dengan penjepit 1,5 cm secara horizontal dikedua panjang sisinya. Uji *Biodegradable* dilakukan dengan menghitung jumlah kehilangan bobot separator sebelum dan sesudah penguburan didalam tanah selama 7 hari (Ginting, et al., 2023). Uji SEM dilakukan untuk mengamati permukaan membran polimer elektrolit dengan menggunakan alat *Hitachi TEM 3000* dengan perbesaran 1200x, 3000x, dan 5000x. Pembuatan membran polimer elektrolit dengan mencampurkan CA:PVDF: TiO_2 . Komposisi pencampuran pembuatan MPE dapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Konsentrasi Membran MPE

Nama Sampel	PVDF	CA	TiO_2
PVDF	2,8	-	-
PCA	2,8	12	-

Nama Sampel	PVDF	CA	TiO ₂
PCA:TiO ₂ 1	2,8	12	0,55
PCA:TiO ₂ 2	2,8	12	0,65
PCA:TiO ₂ 3	2,8	12	0,75

2.6 Karakteristik FTIR

Spektroskopi inframerah (IR) merupakan salah satu metode spektroskopi yang digunakan untuk bahan polimer. Prinsip spektroskopi jenis *Fourier transform* (FT) adalah penyerapan radiasi inframerah oleh suatu senyawa, sehingga spektroskopi dapat memberikan informasi keadaan vibrasional dari molekul. Elemen-elemen bahan yang diuji dapat diketahui dengan menganalisis intensitas yang terserap dan posisi spektral dari absorbansi inframerahnya (panjang gelombang). Karakteristik FTIR dilakukan untuk melihat apakah selulosa asetat yang disintesis dari tandan kosong kelapa sawit sudah terbentuk melalui serapan gugus fungsi yang dihasilkan.

2.7 Pengujian *Cyclic-Voltametry* (CV)

Pengujian Voltametri Siklik (CV) adalah teknik pemeriksaan elektrokimia umum yang sering digunakan untuk memeriksa dan menilai karakteristik elektrokimia berbagai bahan, termasuk pemisah baterai. Pengaruh loop CV pada sifat kelistrikan baterai pemisah terbukti menghasilkan wawasan penting tentang perilaku yang diharapkan dari pemisah dalam aplikasi baterai. Voltametri siklik dilakukan pada kecepatan pemindaian 20 mV·s⁻¹ (Ginting, et al., 2023).

2.8 Karakteristik Kuat Tarik

Pengujian tarik dapat mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara perlahan. Kekuatan tarik ditentukan dengan melihat beban maksimum pada saat sampel putus. Uji tarik dilakukan dengan mengikuti standar **ASTM D882-91**. Nilai kuat tarik dihitung menggunakan persamaan (1).

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A} \quad (1)$$

dengan σ merupakan kekuatan tarik (MPa), F_{max} merupakan beban maksimum (N), dan A merupakan luas penampang (mm^2).

2.9 Uji Biodegradasi

Uji *biodegradable* dilakukan dengan mengacu pada **SNI 7818-2014**. Perhitungan persen biodegradasi MPE dihitung menggunakan persamaan (2). Dengan W_1 merupakan berat separator sebelum dikubur (gram), W_2 merupakan berat separator setelah 7 hari dikubur

$$\% \text{berat} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (2)$$

2.10 Uji Porositas

Uji porositas dilakukan dengan membandingkan volume pori dengan volume total separator untuk mengetahui pengaruh penambahan selulosa asetat terhadap pori membran yang dihasilkan. Porositas berpengaruh terhadap kinerja MPE dalam menghantarkan jumlah transfer ion. Perhitungan nilai porositas MPE didapatkan dengan metode *gravimetric* menggunakan persamaan (3) (Hartini, 2019). dimana W_b adalah berat separator dalam keadaan basah (gram), W_k adalah berat separator dalam keadaan kering (gram), A merupakan luas permukaan MPE (m^2) t merupakan ketebalan separator (cm), dan d merupakan densitas ($gram/cm^3$).

$$\% \text{Porositas } (\varepsilon) = \frac{W_b - W_k}{A \times t \times d} \times 100\% \quad (3)$$

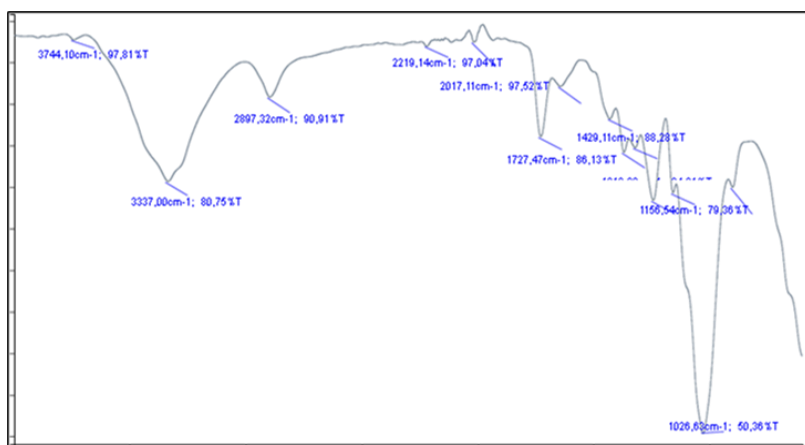
3. Hasil dan Diskusi

3.1 Hasil Uji Selulosa Asetat Menggunakan FTIR

Selulosa hasil sintesis TKKS dianalisis menggunakan FTIR dilakukan untuk mengetahui struktur molekul senyawa dan mengetahui gugus fungsi selulosa asetat. Hasil analisis FTIR selulosa asetat menunjukkan adanya puncak serapan gugus karbonil C=O (1650-1700 cm^{-1}) yaitu 1727,47 cm^{-1} dan gugus ester dari gugus asetil C-O (1210-1320 cm^{-1}) yaitu 1241,82 cm^{-1} . Serapan pada bilangan gelombang 3337,00 cm^{-1} yang menunjukkan gugus fungsi O-H (3333-3704 cm^{-1}) dan 2897,32 cm^{-1} untuk gugus fungsi C-H. Intensitas puncak serapan gugus asetil selulosa asetat TKKS sudah mendekati gugus asetil selulosa asetat komersil yang menunjukkan bahwa selulosa telah menjadi selulosa asetat (Lismeri et al., 2016). Data analisis FTIR selulosa asetat dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 2.

Tabel 2. Hasil Karakterisasi Selulosa Asetat

Gugus Fungsi	Daerah Frekuensi (cm^{-1})	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	
		Selulosa Asetat Komersil	Selulosa Asetat TKKS
O-H	3333-3704	3479,28	3337,00
C-H	2853-2962	2944,99	2897,32
C=O	1650-1700	1744,87	1727,47
C-O	1210-1320	1232,72	1241,82

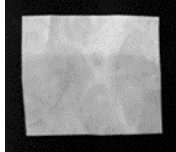
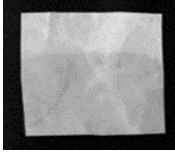





Gambar 2. Spektrum FTIR Selulosa Asetat Tandan Kosong Kelapa Sawit

3.2 Hasil Pembuatan Membran MPE

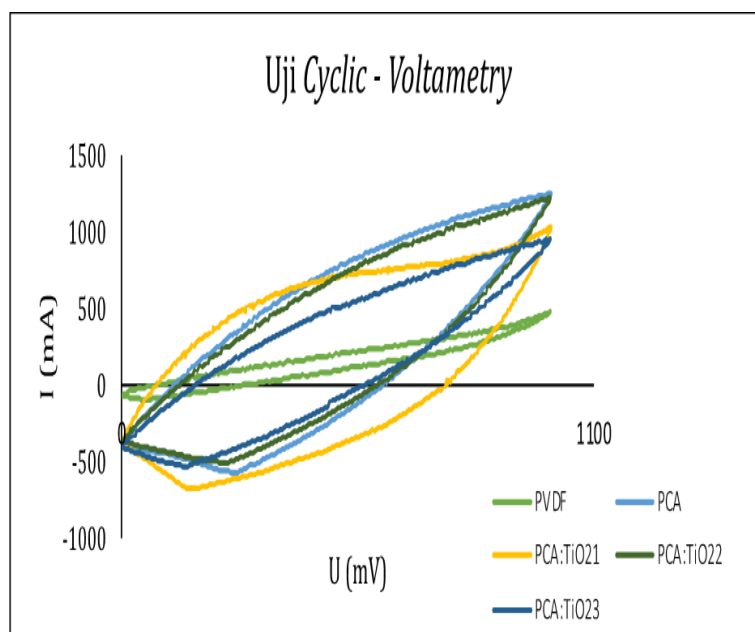
Hasil pembuatan separator dari selulosa asetat limbah TKKS dan PVDF dengan dopping TiO₂ secara kualitatif dapat dilihat pada Tabel 3. Terdapat perubahan warna dan juga tingkat ketebalan dari permukaan sampel.

Tabel 3. Hasil Pembuatan Membran Polimer Elektrolit

Nama Sampel	PVDF	PVDF:CA	PCA:TiO ₂ 1	PCA:TiO ₂ 2	PCA:TiO ₂ 3
Hasil					
Ketebalan	22,9 μm	40,7 μm	55,4 μm	68,3 μm	80,6 μm

3.3 Hasil Uji CV (Cyclic Voltametri)

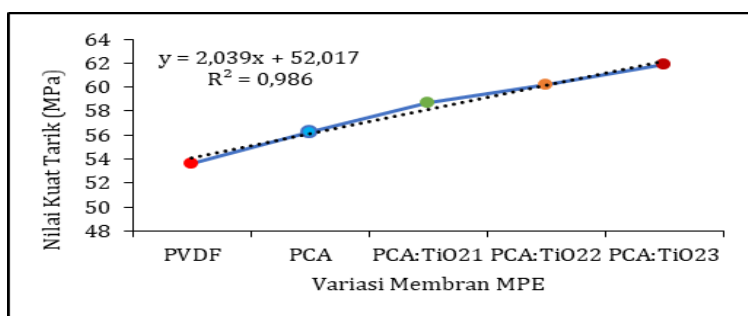
Gambar 3 merupakan grafik hubungan antara potensial (V) dan arus (A) dari keempat variasi konsentrasi selulosa asetat yang menunjukkan tiap variasi konsentrasi selulosa asetat mengalami proses reaksi reduksi-oksidasi. Grafik tersebut menunjukkan separator dengan penambahan 0,55 g titanium dioksida memiliki kurva histerisis dengan loop yang lebih lebar dan separator dengan konsentrasi selulosa asetat dan titanium oksida memiliki kurva histerisis *reversible* yang lebih sempit. Hal ini menunjukkan Peningkatan kapasitas penyimpanan dan pelepasan muatan selama proses elektrokimia. Stabilitas elektrokimia pemisah juga meningkatkan transportasi ion dan mengurangi resistensi selama siklus pengisian-pengosongan (Ginting, et al., 2023).



Gambar 3. Hasil Voltametri Siklik Membran MPE

3.4 Hasil Uji Kuat Tarik Membran Polimer Elektrolit

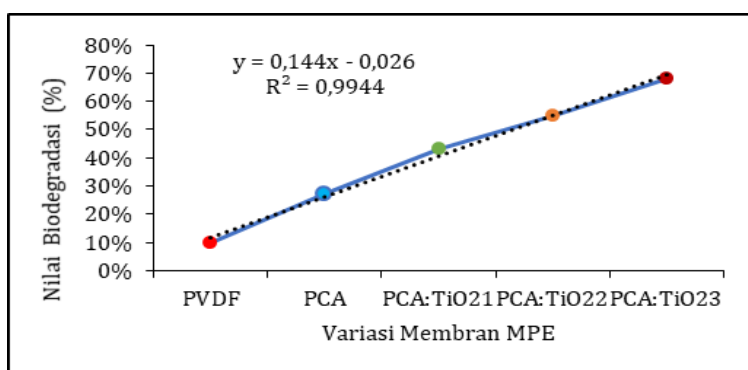
Pengujian kuat tarik dilakukan dengan menggunakan alat L&W *Tensile Tester*. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4. menunjukkan nilai rata-rata kuat tarik separator terendah yaitu 53,6407 MPa dan nilai rata-rata tertinggi yaitu 61,8854 MPa. Semua variasi MPE masuk dalam standar SNI 7818:2014 yaitu 24,7 – 302 MPa.



Gambar 4. Variasi Kuat Tarik Membran MPE

3.5 Hasil Uji Biodegradasi Membran MPE

Pengujian biodegradasi dilakukan dengan menghitung jumlah kehilangan bobot separator sebelum dan sesudah penguburan didalam tanah selama 7 hari. Gambar 5. menunjukkan nilai biodegradasi yang terendah yaitu 28% dan nilai biodegradasi yang tertinggi yaitu 65%. Hasil uji biodegradasi dari beberapa variasi PVDF-CA-TiO₂ diperoleh hasil sebagai berikut:

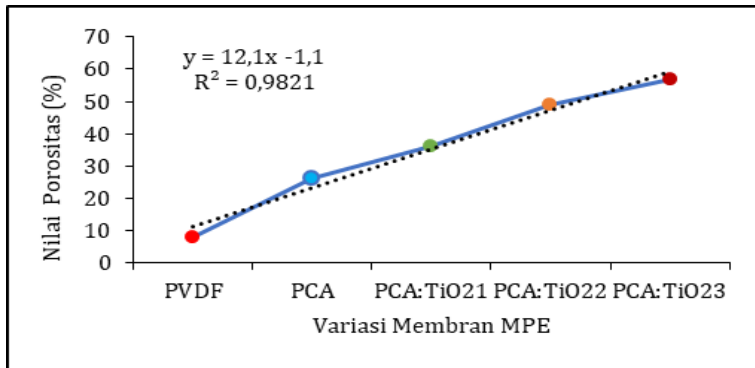


Gambar 5. Hasil Uji Biodegradasi

3.6 Hasil Uji Porositas Membran Polimer Elektrolit

Pengujian porositas dilakukan dengan perendaman membran dalam akuades 25 mL dalam waktu yang sama 24 jam. Setelahnya masing-masing membran ditimbang sehingga didapatkan berat basah membran. Kemudian membran dipanaskan dalam oven dengan suhu 60°C selama 1 jam. Gambar 7 (c) menunjukkan dengan perlakuan pelapisan PVDF-CA-TiO₂ yang memiliki luas permukaan pori lebih besar dan menunjukkan distribusi ukuran pori yang seragam seperti terlihat pada data pada Gambar 6. Untuk menjaga konduktivitas ion tetap tinggi, harus ada cukup cairan elektrolit yang terperangkap di mikropori pemisah dan saluran yang terhubung satu sama lain. Umumnya, pembagi harus memiliki porositas lebih dari 40%. Porositas yang lebih tinggi menyebabkan resistensi internal yang lebih rendah dan penyerapan elektrolit yang

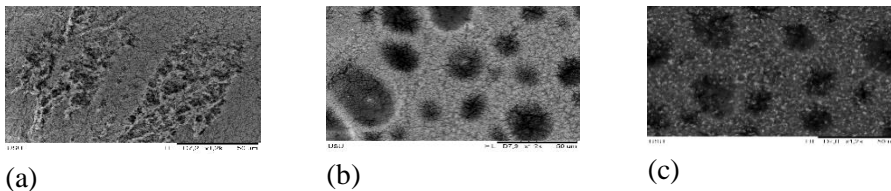
lebih baik, yang keduanya baik untuk meningkatkan kinerja baterai. Fasilitasi transportasi ion dalam baterai lithium-ion merupakan aspek penting (Ginting, et al., 2023)



Gambar 6. Hasil Uji Porositas

3.7 Hasil Uji Morfologi Membran Polimer Elektrolit

Uji SEM dilakukan untuk mengamati permukaan membran polimer elektrolit dengan perbesaran 100x, 500x, dan 1200x. Hasil pengujian SEM yang terbaik di dapatkan pada pembesaran pengujian 1200x. Hasil pengujian SEM dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Citra morfologi (a) membran PVDF dengan ukuran (1200) (b) membran PCA dengan ukuran (1200) (c) membran PCA:TiO₂ dengan ukuran (1200).

4. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan MPE ramah lingkungan dengan bahan PVDF, CA dan TiO₂ telah berhasil diproses melalui teknik *Spin Coating* yang menghasilkan ketebalan membran berkisar 22,9 μm - 80,6 μm . Penambahan TiO₂ berperan terhadap serapan elektrolit, ditunjukkan dengan terjadinya proses reaksi reduksi-oksidasi pada kurva histerisis dengan *loop* yang lebih lebar dan *reversible* pada MPE dengan penambahan selulosa asetat dan PVDF. Karakteristik mekanis MPE juga terjadi peningkatan seiring dengan penambahan konsentrasi TiO₂. MPE dengan penambahan TiO₂ menunjukkan nilai kuat tarik tertinggi yaitu 61,8854 MPa dan nilai porositas tertinggi yaitu 57%. MPE dengan penambahan TiO₂ juga lebih cepat terurai. Hal ini ditunjukkan dengan persen kehilangan bobot sebesar 68%. Dengan penambahan TiO₂ akan meningkatkan kekuatan tarik, ketebalan, porositas, daya hantar listrik, biodegradasi, dan serapan elektrolit yang baik sehingga membran dapat diaplikasikan sebagai pemisah baterai Li-ion.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset dan

Teknologi (Ditjen Dikristek) melalui Direktorat Pembelajaran Kemahasiswaan (BELMAWA) atas hibah pendanaan Program Kreativitas Mahasiswa tahun 2023 dengan No surat: 2383/E2/DT.01.00/2023

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelghani, L., Said, L., Said, B., & Okba, B. (2022). Spin coating method deposited nickel oxide thin films with various film thicknesses. *Journal of Chemical Research*, 46(1). <https://doi.org/10.1177/17475198211066535>
- Alvianto, D., Nurhadi, F. A. A., Putranto, A. W., Argo, B. D., Hermanto, M. B., & Wibisono, Y. (2022). Sintesis dan Karakterisasi Membran Selulosa Asetat dengan Penambahan Antibiofouling Alami Ekstrak Bawang Putih. *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*, 18(2), 193. <https://doi.org/10.20961/alchemy.18.2.57199.193-204>
- Ariadi Lusiana, R., Suseno, A., & Gesti Faradina, C. (2021). Pengaruh Tripolifosfat sebagai Agen Taut Silang pada Membran Kitosan Terhadap Karakter Fisikokimia dan Kemampuan Permeasi. In *Greensphere: J. Environ. Chem* (Vol. 1, Issue 1).
- Chen, S., Wei, X., Zhang, G., Wang, X., Zhu, J., Feng, X., Dai, H., Ouyang, M., Chen, S., Wei, X., Zhang, G., Wang, X., Zhu, J., Feng, X., Dai, H., & Ouyang, M. (2023). All-temperature area battery application mechanism , performance , and strategies All-temperature area battery application mechanism , performance , and strategies. *The Innovation*, 4(4), 100465. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2023.100465>
- Cheng, K., Chen, X., Liu, S., Cao, Q., Yu, W., & Cui, W. (2020). Study on Mechanical Behaviors and Electrolyte Uptake of PVDF/PES/TiO₂ Composite Fiber Separators. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 768(2). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/768/2/022052>.
- Darmawan, M. T., Elma, M., & Ihsan, M. (2018). Sintesis Dan Karakterisasi Selulosa Asetat Dari Alfa Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 4(1), 50–55. <https://doi.org/10.20527/jukung.v4i1.4658>
- Faizal, M., Kimia Industri, T., Kimia, T., & Negeri Sriwijaya Jl Srijaya Negara Bukit Besar Palembang, P. (2022). Sintesis dan karakterisasi selulosa asetat dari tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan baku bioplastik synthesis and characterization of cellulose acetate from empty palm oil bunches as raw material for bioplastic.
- Ginting, D., Duma, T. N., Rahmadani, N., Suryani, Y., Haryanti, R., Fisika, S., Riau, U. M., Kimia, S., & Riau, U. M. (2023). Potensi Separator dari Selulosa Asetat Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Polyvinylidene Fluoride Untuk Aplikasi Perangkat Penyimpanan Energi Potential of Cellulose Acetat Separator of Empty Palm Oil Fruit Bunches and Polyvinylidene Fluoride for Energy Storag. 13(01), 51–59. <https://doi.org/10.26418/positron.v13i1.63784>.
- Ginting, D., Perdana, F., Syahputra, R. F., & Ismail, N. M. (2023). Enhanced Performance of Solid Polymer Electrolyte Separator Lithium Battery with Cellulose Acetate From Empty Palm Fruit Bunch Coated Al₂O₃-Polyacrylic Acid. *Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya (JPFA)*, 13(2), 160–173. <https://doi.org/10.26740/jpfa.v13n2.p160-173>.
- Gou, J., Liu, W., & Tang, A. (2020). A renewable gel polymer electrolyte based on the different sized carboxylated cellulose with satisfactory comprehensive performance for rechargeable lithium ion battery. *Polymer*, 208(June), 122943. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2020.122943>
- Haider, A. J., Jameel, Z. N., & Al-Hussaini, I. H. M. (2019). Review on: Titanium dioxide applications. *Energy Procedia*, 157, 17–29.

- <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.159>
- Hartini, A. (2019). Uji water uptake dan porositas terhadap blend membran berbasis polisulfon dan selulosa asetat dari nata de coco. 7(2).
- Khassi, K., Youssefi, M., & Semnani, D. (2020). PVDF/TiO₂/graphene oxide composite nanofiber membranes serving as separators in lithium-ion batteries. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(23), 1–9. <https://doi.org/10.1002/app.48775>
- Kustiyah, E., Wicaksono, I., Wardani, L. A., Meilani, S. S., & Hasaya, H. (2022). Pembuatan komposit dari serat tandan kosong kelapa sawit dengan matrik polipropilen serta penambahan grafting agent PP-g-MA. *Agrointek : Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 16(3), 367–372. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v16i3.13005>
- Lee, S., Koo, H., Kang, H. S., Oh, K., & Nam, K. W. (2023). *Advances in Polymer Binder Materials for Lithium-Ion Battery Electrodes and Separators*. 1–19.
- Lismeri, L., Zari, P. M., Novarani, T., & Darni, Y. (2016). Sintesis Selulosa Asetat dari Limbah Batang Ubi Kayu. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 11(2), 82–91. <https://doi.org/10.23955/rkl.v11i2.5407>
- Lizundia, E., Costa, C. M., Alves, R., & Lanceros-Méndez, S. (2020). Cellulose and its derivatives for lithium ion battery separators: A review on the processing methods and properties. In *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications* (Vol. 1). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2020.100001>
- Munawaroh, T., Arifin, Z., & Supardi, I. (2019). Doping aluminium hidroksida Al(OH)₃ pada polyvinylidene fluoride-selulosa asetat (PVDF-CA) sebagai separator baterai lithium ion. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 08, 19–22.
- Nurhadini, N., & Arcana, I. M. (2018). Synthesis of Cellulose Acetate From Oil Palm Empty Fruit Bunch and Its Properties As Polymer Electrolyte Membranes on Lithium Ion Battery. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 15(2), 111. <https://doi.org/10.30872/jkm.v15i2.612>
- Saiful, Hasima, S., Kamila, N., & Rahmi. (2022). Cellulose acetate from palm oil bunch waste for forward osmosis membrane in desalination of brackish water. *Results in Engineering*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100611>
- Sudibyo, I. S., K, B. F. T., & Utomo, M. S. K. T. S. (2023). Analisis Manajemen Termal Cylindrical Battery Pack Li-Ion 18650 Secara Konveksi Paksa Dengan Variasi Temperatur Inlet dan Laju Aliran Udara Menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD). 11(1), 142–149.
- Wang, J., Wang, Z., Wang, W., Wang, Y., Hu, X., Liu, J., Gong, X., Miao, W., Ding, L., Li, X., & Tang, J. (2022). Synthesis, modification and application of titanium dioxide nanoparticles: a review. In *Nanoscale*. Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/d1nr08349j>
- Zhang, Z., Fang, Z., Xiang, Y., Liu, D., Xie, Z., & Qu, D. (2023). Cellulose-based material in lithium-sulfur batteries Publisher 's PDF , also known as Version of record Publication date : Cellulose-based material in lithium-sulfur batteries : A review. *Carbohydrate Polymers*, 255, 117469. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117469>