

Sintesis dan Karakterisasi *Solid Polymer Electrolyte* (SPE) Berbasis Nanofiber Selulosa untuk Menunjang Baterai Litium Berdensitas Tinggi dan Ramah Lingkungan

Ahmad Ali Muckharom¹, Rizky Putra Adithia¹, Putri Diah Wahyu Karimah², Tabah Ditalistya², Rahmad Nuryanto^{2*}, Lisna Efiyanti³

¹Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

²Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

³Research Center for Biomass and Bioproduct, National Research and Development Agency Nanotechnology Laboratory, Integrated Laboratory of Diponegoro University, Semarang, Indonesia

Corresponding Author:

Rahmad Nuryanto

nuryantorahmad@live.undip.ac.id

Received: December 2023

Accepted: May 2024

Published: September 2024

©Rahmad Nuryanto et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Abstract

Lithium battery as one of the energy storage has two important elements, namely electrodes and electrolyte. Electrolyte is a part of the battery element that has undergone many developments. In this study, the manufacture of electrolytes in the form of Solid Polymer Electrolyte (SPE) was carried out by utilizing the abundant availability of nata de coco. The nanofibrous cellulose structure in Bacterial Cellulose (BC) nata de coco has the advantages of good porosity, flexibility in surface functionality, compact porous structure that provides abundant ion pathways and hetero atoms (oxygen atoms) with free electron pairs that facilitate ionic conduction. The SPE synthesis process was carried out by varying the soaking time of nata de coco in ethanol, namely 1, 2 and 3 days to determine the structure with optimal results. FTIR characterization results show the synthesis of cellulose nanofiber has the same groups as commercial cellulose groups in the form of O-H, C-H, C=O and C-O. CV characterization results show the SPE electrolyte has good redox properties, especially in the 2-day variation with the highest specific capacitance. The EIS test showed the lowest resistance in the 1-day variation sample with a conductivity of 0.017 ohm⁻¹.

Keywords: *cellulose nanofib, lithium battery, solid polymer electrolyte.*

Pendahuluan

Penggunaan energi fosil yang berlebihan selama beberapa tahun terakhir ini menyebabkan adanya permasalahan lingkungan berskala global seperti meningkatnya polusi dan efek gas rumah kaca. Polusi akibat penggunaan energi fosil juga menyebabkan permasalahan kesehatan seperti sesak napas dan gangguan pada pernapasan [1]. Kenyataan ini diperparah dengan fakta bahwa kebutuhan energi dunia terus meningkat setiap tahunnya akibat bertambahnya jumlah

penduduk dunia^[2]. Oleh karena itu, pemerintah mendukung adanya pengembangan energi yang ramah lingkungan yang terdapat pada Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 112 Tahun 2022 yang bertujuan mempercepat pengembangan energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik. Saat ini, banyak sekali isu mengenai energi bermunculan, seperti sumber energi baru, energi alternatif hingga penyimpanan energi. Hal ini menyebabkan pengembangan energi terbarukan (*renewable energy*) dan teknologi

penyimpanan energi telah menjadi prioritas utama^[3]. Media penyimpanan energi yang digunakan yaitu baterai dan kapasitor. Namun, kapasitor memiliki kelemahan yaitu rapat energi yang sangat kecil^[4].

Salah satu teknologi penyimpan energi yang sangat penting bagi kendaraan listrik adalah baterai. Bahkan sekarang pemerintah mendorong pengembangan terhadap kendaraan listrik yang terdapat pada Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 55 Tahun 2019 yang bertujuan Meningkatkan Kecepatan Implementasi Kendaraan Listrik dengan Teknologi Baterai untuk Mobilitas di Jalan. Baterai litium memiliki sejumlah kelebihan dibandingkan dengan baterai konvensional seperti *Nickel-Cadmium*, *Nickel metal hydrate*, dan *Lead Acid*^[5]. Keunggulan baterai berbasis litium adalah densitas energi dan daya tinggi, *self discharge* rendah, pengisian cepat, rasio *massa-energy* yang tinggi, tidak ada *memory effect*, kemampuan siklus yang baik, dan tahan lama saat proses *charging* cocok^[6]. Selain pada kendaraan listrik, baterai juga menjadi sumber primer energi dalam berbagai produk elektronik untuk memudahkan aktivitas manusia seperti laptop, telepon seluler dan kamera. Baterai ion litium juga sering digunakan oleh bidang industri militer dan kedirgantaraan^[5].

Baterai ion litium terdiri dari dua elemen penting yaitu elektroda dan elektrolit. Elektroda terdiri dari dua jenis yaitu anoda dan katoda yang berfungsi untuk menghantarkan energi listrik (ion). Elektrolit atau konduktor ionik berperan sebagai jembatan untuk mentransfer ion-ion yang dihasilkan oleh elektroda. Riset mengenai elemen-elemen baterai ion litium telah banyak dilakukan untuk mengembangkan sifat kepadatan energi yang lebih tinggi. Salah satu topik yang sering dibahas adalah penggunaan elektrolit. Hal ini karena penggunaan garam litium secara tradisional (dalam bentuk *liquid*) memiliki beberapa efek negatif dalam aplikasinya seperti mudah kehilangan suhu, adanya *short circuit*, mudah korosi bahkan bisa menimbulkan ledakan^[7]. Selain itu, elektrolit-elektrolit cair seperti LiClO₂, LiAsF₆, dan LiPF₆ memiliki

sifat beracun sehingga tidak ramah lingkungan^[8].

Sejauh ini, riset tentang *Solid Polymer Electrolyte* (SPE) sebagai pengganti elektrolit tradisional (*liquid*) telah dilakukan dan mendapatkan hasil yang cukup baik. Hal ini dikarenakan sifat elektrokimia yang stabil, tidak mudah terbakar dan sifat mekanik yang tinggi^[9]. Namun, jika dibandingkan dengan elektrolit cair, SPE memiliki sifat konduktivitas ionik dan kompatibilitas yang rendah sehingga menghambat aplikasi SPE sebagai pengganti elektrolit tradisional^[10].

Riset terdahulu yang pernah dilakukan adalah penggunaan variasi bahan yang digunakan seperti riset yang dilakukan oleh Ni'mah dkk tahun 2015 yang menggunakan penambahan TiO₂ pada PEO/NaClO₆ menunjukkan hasil konduktivitas ionik $2,62 \times 10^{-4} \text{S/cm}$ ^[11]. Hasil dari riset ini cukup memuaskan, namun penggunaan bahan-bahan seperti Al₂O₃, SiO₂, dan TiO₂ masih menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, solusi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan menjadi alternatif yang perlu dipertimbangkan untuk mengatasi keterbatasan dari penelitian tersebut.

Bahan anorganik yang digunakan pada riset sebelumnya masih memiliki kekurangan, maka *Bacterial Cellulose* (BC) merupakan bahan yang berpotensi digunakan sebagai material SPE. Hal ini dikarenakan BC adalah bahan ramah lingkungan yang memiliki struktur selulosa nanofibrous. Ikatan hidrogen antarmolekul yang kuat memberikan kinerja mekanik yang unggul, stabilitas termal, dan sifat dielektrik yang baik sehingga dapat menghindarkan baterai dari terjadinya *short circuit*^[12]. Struktur selulosa nanofibrous pada BC juga memiliki porositas yang sangat baik, fleksibilitas dalam fungsionalitas permukaan, dan hetero atom (atom oksigen) dengan pasangan elektron bebas yang memfasilitasi konduksi ionik. BC berlapis dengan struktur berpori kompak dalam komposit akan memberikan efisiensi untuk pembasahan elektrolit dan keseragaman fluks ion, sehingga menjamin kapasitas penyerap elektrolit dan menyediakan jalur ion

yang melimpah^[13]. Potensi BC sebagai bahan dasar pada pembuatan SPE disebabkan karena ketersediaannya yang besar dan merupakan bahan organik ramah lingkungan yang memiliki struktur selulosa nanofibrous.

Dari analisis permasalahan di atas maka diperoleh inovasi riset untuk menggunakan *Bacterial Cellulose* (BC) sebagai bahan dasar alternatif dalam pembuatan SPE sebagai penunjang baterai berdensitas energi tinggi dan ramah lingkungan. Dengan adanya inovasi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dari baterai litium ion dan meminimalkan efek samping yang ditimbulkan.

Metodologi Penelitian

Bahan Kimia

Bahan-bahan yang digunakan pada riset ini adalah Ethanol, garam LiBOB, selulosa Nata De Coco, dan NMP.

Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam riset ini adalah pipet tetes, gelas ukur, batang pengaduk, hot plate stirrer, aluminium foil, cawan petri, pinset, gelas ukur, neraca analitik, alat uji *Cyclic Voltametry* (CV), *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR).

Prosedur penelitian

Sintesis Nanofiber Selulosa

Bahan dasar pembuatan Nanofiber Selulosa adalah selulosa Nata De Coco atau *Bacterial Cellulose* (BC). Langkah pertama membuat nanofiber selulosa adalah netralisasi dengan merebus BC berukuran 3 x 3 cm² ke dalam air mendidih selama 1 jam. BC kemudian direndam pada ethanol untuk menumbuhkan struktur pori termasuk sifat ukuran pori dan morfologi permukaan (Campano *et al.*, 2016). Pada riset ini akan dilakukan variasi waktu perendaman selama 1, 2 dan 3 hari untuk menentukan waktu perendaman optimum dalam menumbuhkan pori BC. Selanjutnya BC hasil perendaman

dikeringkan dengan metode *freeze drying*. Hasil sampel kemudian dipotong melingkar dengan diameter 19 mm yang sesuai dengan ukuran baterai litium sebelum dilakukan pembuatan *Solid Polymer Electrolyte* (SPE).

Pembuatan Larutan Elektrolit Garam LiBOB

Garam litium yang digunakan adalah garam Litium Bis(oxalate) Borate (LiBOB). Pembuatan larutan elektrolit LiBOB dilakukan dengan melarutkan LiBOB padat ke solvent GBL 10 ml pada wadah menggunakan *hotplate* pada suhu 40°C dengan kecepatan 100 rpm selama 4 jam.

Sintesis Solid Polymer Electrolyte (SPE) Selulosa

Pembuatan SPE pada riset ini dilakukan dengan menggunakan metode *Immerse*. Hasil *Bacterial Cellulose* (BC) dengan diameter 19 mm dan ketebalan sekitar 100 µm dimasukkan ke dalam *glovebox* dengan konsentrasi kelembapan dibawah 0,1 ppm. BC kemudian direndam dengan menggunakan larutan elektrolit garam LiBOB yang sebelumnya sudah disiapkan. Kemudian sampel dikeringkan pada suhu ruangan untuk mendapatkan *Solid Polymer Electrolyte* (SPE) kering.

Pengukuran

Pengujian yang dilakukan dalam sintesis *Solid Polymer Electrolyte* (SPE) terdiri dari uji *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dengan tujuan untuk mengetahui struktur dari lembaran BC. Uji *Cyclic Voltametry* (CV) untuk mengetahui proses elektrokimia reduksi dan oksidasi pada baterai. Uji *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) untuk menganalisis sifat elektrokimia baterai menggunakan membran polimer.

Hasil dan Diskusi

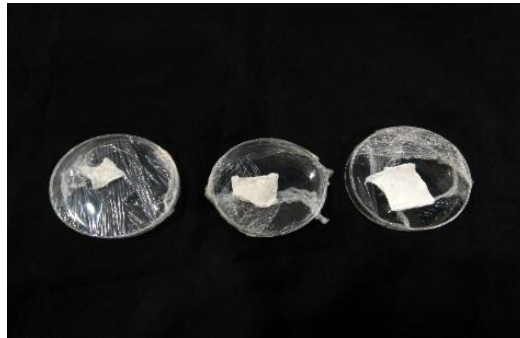
Pada riset ini proses sintesis *Solid Polymer Electrolyte* (SPE) berbasis nanofiber selulosa dilakukan dengan 3 tahap, yaitu tahap sintesis nanofiber selulosa, pembuatan larutan elektrolite garam LiBOB dan sintesis *Solid Polymer Electrolyte* (SPE). Pada sintesis

nanofiber selulosa diperoleh *Bacterial Cellulose* (BC) berwarna putih yang telah kering dengan kelembapan kurang dari 5% setelah melalui proses *freeze dryer*, ketebalan 1mm setelah dilakukan *calendaring* dan mengalami penyusutan ukuran yang semula 3x3cm menjadi 2,2x1,8cm pada sampel variasi perendaman 1 hari, ukuran semula 4x4cm menjadi 3x3,7cm pada sampel variasi perendaman 2 hari, dan 3,3x3,6cm pada sampel perendaman 3 hari.

Hasil dari pembuatan larutan elektrolit garam LiBOB yaitu didapatkan larutan berwarna coklat yang homogen Gambar 2.

Hasil dari sintesis *Solid Polymer Electrolyte* (SPE) yaitu BC yang semula lembaran berwarna putih, maka berubah menjadi sedikit kecoklatan dan didapatkan *Solid Polymer Electrolyte* (SPE) (Gambar 3).

Uji karakterisasi *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) bertujuan untuk mengetahui struktur yang terbentuk dari BC yang sudah dilakukan variasi perendaman. Pada gambar 4 merupakan hasil analisis FTIR dari BC dengan variasi perendaman 1 hari, 2 hari dan 3 hari.



Gambar 1. Hasil Sintesis Nanofiber Selulosa Nata de Coco



Gambar 2. Larutan Elektrolit garam LiBOB



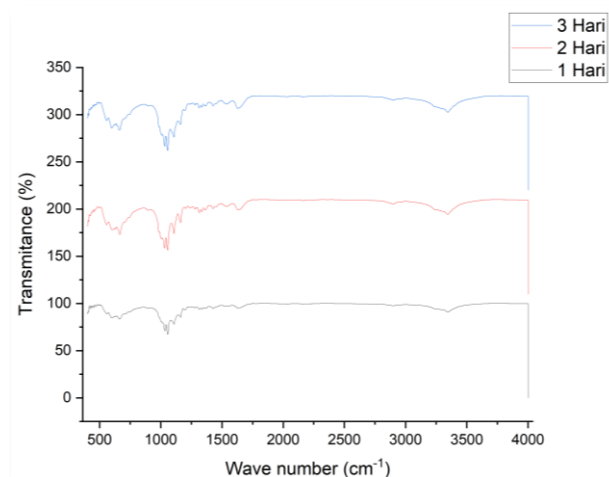
Gambar 3. *Solid Polymer Electrolyte (SPE)*

Hasil spektra FTIR dapat dilihat bahwa spektrum infra merah dari BC memiliki gugus O-H merepresentasikan serapan pada daerah $3200-3550\text{ cm}^{-1}$, gugus C-H ditunjukkan oleh serapan pada daerah $2840-3000\text{ cm}^{-1}$, gugus C=O merepresentasikan serapan pada daerah 1650 cm^{-1} , gugus C-O ditunjukkan oleh serapan pada daerah $1163-1210\text{ cm}^{-1}$ dan pada daerah $1050-1085\text{ cm}^{-1}$. Hasil sintesis BC memiliki struktur yang sama dengan selulosa komersial. BC hasil sintesis tidak mengalami perubahan struktur dan dapat dijadikan sebagai pengganti bahan anorganik pada *Solid Polymer Electrolyte (SPE)*.

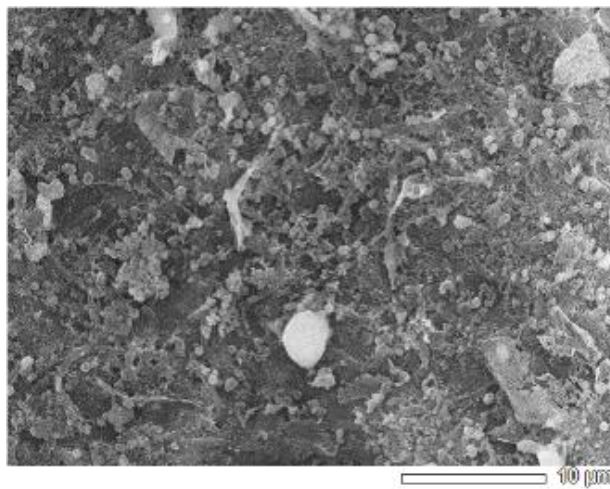
Uji *Scanning Electron Microscopy (SEM)* bertujuan untuk menganalisa morfologi dan

mengetahui kandungan unsur yang terdapat pada hasil sintesis SPE. Hasil analisa morfologi dapat diketahui bahwa material SPE berbentuk pecahan kepingan pada variasi perendaman 2 dan 3 hari dikarenakan rapuhnya matriks pada SPE, sedangkan pada variasi 1 hari berbentuk serat yang sebagian mengalami aglomerasi. Serat mengalami aglomerasi dapat terjadi karena beberapa hal seperti kontaminan atau distribusi partikel yang tidak merata pada matriks^[11].

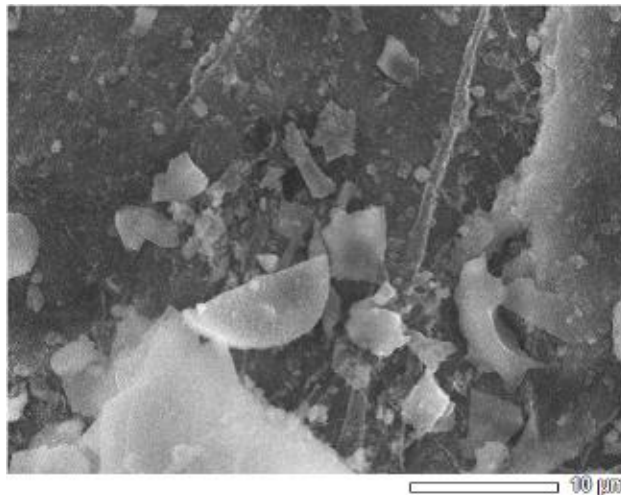
Dari hasil uji EDX, SPE mengandung tiga unsur utama yaitu C, O, dan S. Terdapat unsur lainnya yaitu Na, P, Ca, K, dan Zr. Pada variasi perendaman 1 hari unsur C sebanyak 86,88%, O sebanyak 5,67%, dan S sebanyak 1,96%.



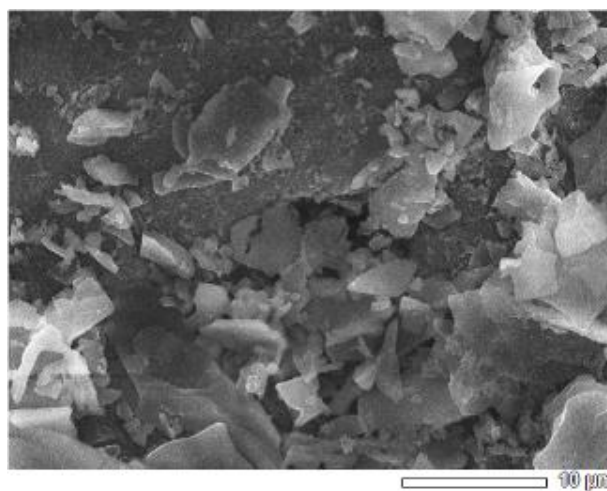
Gambar 4. Hasil karakterisasi FTIR BC



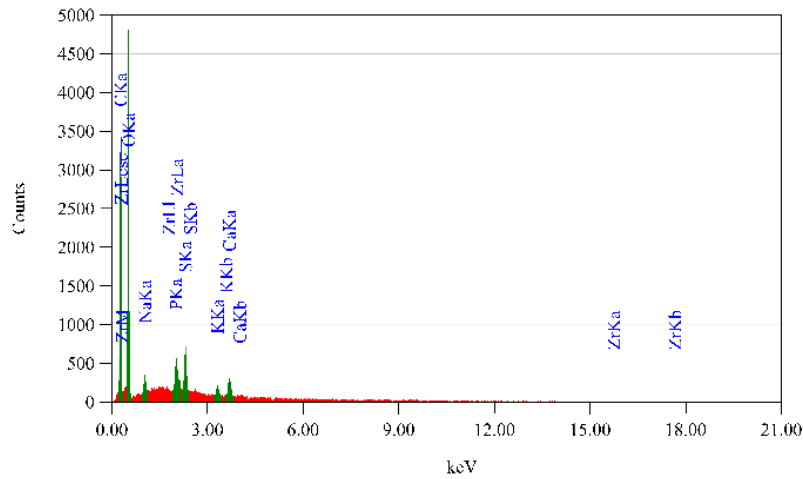
Gambar 5. Hasil karakterisasi SEM variasi perendaman 1 hari



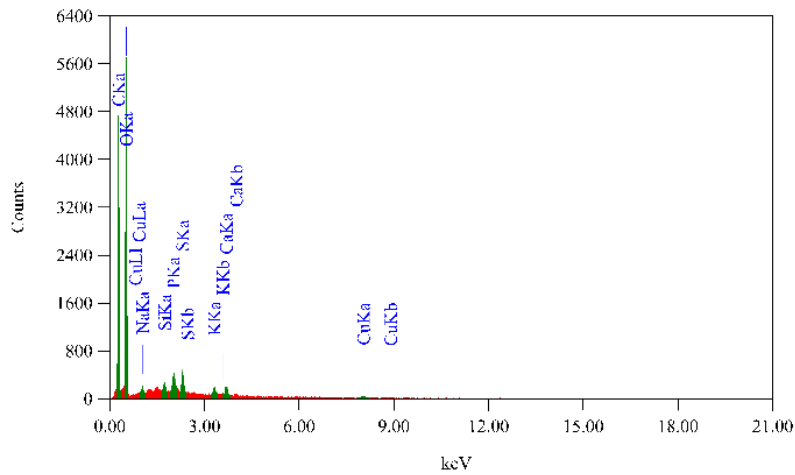
Gambar 6. Hasil karakterisasi SEM variasi perendaman 2 hari



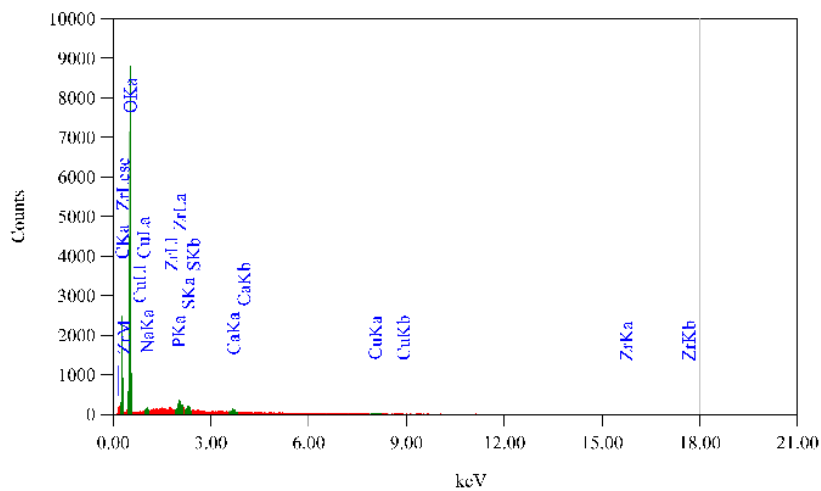
Gambar 7. Hasil karakterisasi SEM variasi perendaman 3 hari



Gambar 8. Hasil karakterisasi SEM-EDX variasi perendaman 1 hari



Gambar 9. Hasil karakterisasi SEM-EDX variasi perendaman 2 hari



Gambar 10. Hasil karakterisasi SEM-EDX variasi perendaman 3 hari

Pada variasi perendaman 2 hari unsur C sebanyak 89,67%, unsur O sebanyak 4,71%, dan unsur S sebanyak 1,39%. Pada variasi perendaman 3 hari unsur C sebanyak 88,59%, unsur O sebanyak 4,15%, dan unsur S sebanyak

0,99%. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa material yang mengandung unsur C paling tinggi yaitu pada variasi perendaman 2 hari. Semakin tinggi presentase unsur C maka semakin baik sifat mekanik yang diinginkan

seperti konduktivitas ion dan stabilitas elektrokimia.

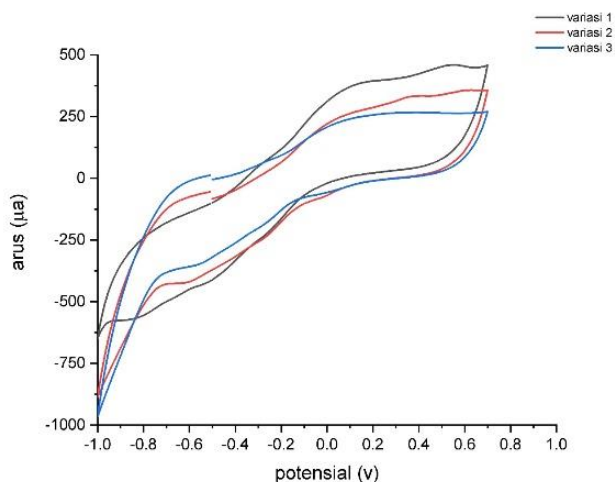
Uji karakterisasi *Cyclic Voltametry* (CV) bertujuan untuk mengetahui proses elektrokimia reduksi dan oksidasi pada baterai. Uji *Cyclic Voltametry* (CV) dilakukan pada kondisi sistem elektroda 3 kaki dimana terdiri dari elektroda kerja (SPE), elektroda referensi (Ag/AgCl) dan elektroda balik (platina) dengan elektrolit Na₂SO₄ 2M pada suhu ruangan dengan scan rate 0,05 v/s.

Dari grafik tersebut dapat dilakukan perhitungan kapasitansi spesifik dari masing-

masing variasi, hasil yang diperoleh ditunjukkan oleh Tabel 1.

Elektroda dengan variasi perendaman 2 hari menunjukkan nilai kapasitansi spesifik yang paling besar yaitu 2,177 f/g jika dibandingkan dengan variasi perendaman 1 dan 3 hari.

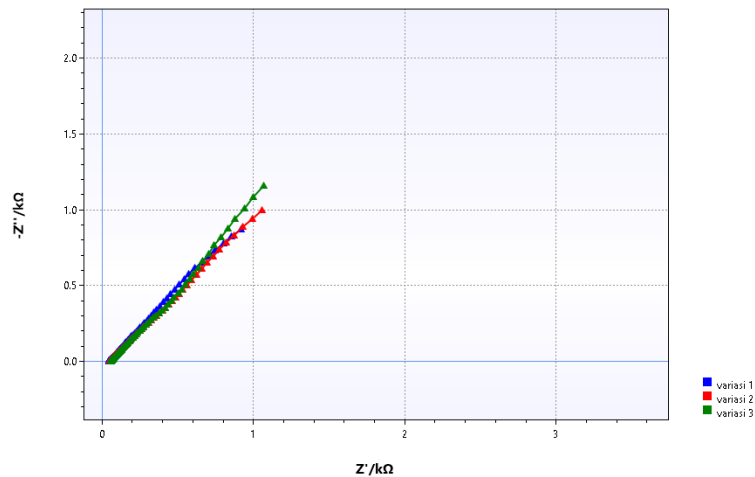
Uji katakterisasi *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) bertujuan untuk menganalisis sifat elektrokimia baterai yang menggunakan membrane polimer. Uji Eis dilakukan pada rentang 1-100000 Hz pada sistem 3 elektroda dengan pelarut Na₂SO₄ 2M.



Gambar 11. Hasil Uji Karakterisasi *Cyclic Voltametry* (CV)

Tabel 1. Kapasitansi Spesifik pada 3 Variasi *Solid Polymer Electrolyte* (SPE)

No	Variasi Elektroda (hari)	Kapasitansi Spesifik (f/g)
1	Variasi 1	1,0567
3	Variasi 2	2,177
4	Variasi 3	1,208



Gambar 12. Hasil Uji Karakterisasi *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS)

Tabel 2. Hambatan pada rangkaian elektrolit baterai

Variasi sampel (hari)	Hambatan (Ohm)
Variasi 1	57,25
Variasi 2	66,01
Variasi 3	73,58

Grafik yang didapatkan kemudian dilakukan perhitungan hambatan dari rangkaian elektrolit baterai, hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari hasil analisis EIS dapat dilakukan perhitungan hasil daya hantar arus atau konduktivitas di setiap variasi dengan hasil variasi 1 sebesar $0,017 \text{ ohm}^{-1}$, variasi 2 sebesar $0,015 \text{ ohm}^{-1}$, dan variasi 3 sebesar $0,013 \text{ ohm}^{-1}$. Sehingga dapat diketahui bahwa sampel variasi 1 memiliki daya hantar yang paling baik dan hambatannya kecil.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa *Solid Polymer Electrolyte* (SPE) berbasis nanofiber selulosa dapat digunakan sebagai bahan alternatif yang digunakan untuk menunjang baterai litium. Hasil ini sesuai dengan uji FTIR yang menunjukkan sintesis nanofiber selulosa memiliki gugus yang sama dengan selulosa komersial. Uji SEM-EDX menunjukkan material SPE memiliki morfologi pecahan kepingan pada variasi perendaman 2 dan 3 hari, sedangkan pada variasi 1 hari

berbentuk serat yang sebagian mengalami aglomerasi dan pada variasi perendaman 2 hari mengandung unsur C paling tinggi sebesar 89,67%. Hal itu sesuai dengan hasil uji CV yang menunjukkan *Solid Polymer Electrolyte* (SPE) pada variasi perendaman 2 hari memiliki nilai kapasitansi paling besar yaitu 2,177 f/g. Terakhir, hasil uji EIS menunjukkan bahwa sampel variasi perendaman 1 hari memiliki hambatan terkecil yaitu 55,75 ohm dengan daya hantar arus $0,017 \text{ ohm}^{-1}$. Hasil paling optimal dari *Solid Polymer Electrolyte* (SPE) yaitu pada variasi perendaman 1 hari dengan hambatan paling kecil dan daya hantar terbesar.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada DITBELMAWA, DIKTIRISTEK karena telah memberikan pendanaan PKM-RE 2023 ini. Selain itu, kami juga mengucapkan terima kasih kepada Universitas Diponegoro atas fasilitas dan juga bantuan pendanaan tambahan PKM-RE tahun 2023 serta Dr. Rahmad Nuryanto, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing.

Daftar Pustaka

1. I. Boumanchar et al., "Municipal solid waste higher heating value prediction from ultimate analysis using multiple regression and genetic programming techniques," *Waste Management and Research*, vol. 37, no. 6, pp. 578–589, Jun. 2019, doi: 10.1177/0734242X18816797."
2. M. Karnan, K. Subramani, P. K. Srividhya, and M. Sathish, "Electrochemical Studies on Corncob Derived Activated Porous Carbon for Supercapacitors Application in Aqueous and Non-aqueous Electrolytes," *Electrochim Acta*, vol. 228, pp. 586–596, Feb. 2017, doi: 10.1016/j.electacta.2017.01.095.
3. Y. Guo, L. Zhang, Y. Liu, and S. Guo, "Almond Shell-Derived Carbons under Low-Temperature Activation with Ultra-High Surface Area and Superior Performance for Supercapacitors," *ChemistrySelect*, vol. 4, no. 43, pp. 12472–12478, Nov. 2019, doi: 10.1002/slct.201903480.
4. P. U. Nzereogu, A. D. Omah, F. I. Ezema, E. I. Iwuoha, and A. C. Nwanya, "Anode materials for lithium-ion batteries: A review," *Applied Surface Science Advances*, vol. 9, Elsevier B.V., Jun. 01, 2022. doi: 10.1016/j.apsadv.2022.100233.
5. F. A. Perdana, "Baterai Lithium," *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*, vol. 9, no. 2, p. 113, Apr. 2021, doi: 10.20961/inkuiri.v9i2.50082.
6. J. Wang, J. He, D. Kan, K. Chen, M. Song, and W. Huo, "MXene Film Prepared by Vacuum-Assisted Filtration: Properties and Applications," *Crystals*, vol. 12, no. 8, MDPI, Aug. 01, 2022. doi: 10.3390/cryst12081034.
7. K. Borzutzki, J. Thienenkamp, M. Diehl, M. Winter, and G. Brunklaus, "Fluorinated polysulfonamide based single ion conducting room temperature applicable gel-type polymer electrolytes for lithium ion batteries," *J Mater Chem A Mater*, vol. 7, no. 1, pp. 188–201, 2019, doi: 10.1039/c8ta08391f.
8. Y. Gu, S. Fang, L. Yang, and S. ichi Hirano, "A safe electrolyte for high-performance lithium-ion batteries containing lithium difluoro(oxalato)borate, gamma-butyrolactone and non-flammable hydrofluoroether," *Electrochim Acta*, vol. 394, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.electacta.2021.139120.
9. P. Fan et al., "High Performance Composite Polymer Electrolytes for Lithium-Ion Batteries," *Advanced Functional Materials*, vol. 31, no. 23. John Wiley and Sons Inc, Jun. 01, 2021. doi: 10.1002/adfm.202101380.
10. S. Chen, K. Wen, J. Fan, Y. Bando, and D. Golberg, "Progress and future prospects of high-voltage and high-safety electrolytes in advanced lithium batteries: From liquid to solid electrolytes," *Journal of Materials Chemistry A*, vol. 6, no. 25. Royal Society of Chemistry, pp. 11631–11663, 2018. doi: 10.1039/c8ta03358g.
11. Y. L. Ni'Mah, M. Y. Cheng, J. H. Cheng, J. Rick, and B. J. Hwang, "Solid-state polymer nanocomposite electrolyte of TiO₂/PEO/NaClO₄ for sodium ion batteries," *J Power Sources*, vol. 278, pp. 375–381, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.jpowsour.2014.11.047.
12. D. Lasrado, S. Ahankari, and K. Kar, "Nanocellulose-based polymer composites for energy applications—A review," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 137, no. 27. John Wiley and Sons Inc., Jul. 15, 2020. doi: 10.1002/app.48959.
13. Q. Sabrina et al., "Preparation and characterization of nanofibril cellulose as solid polymer electrolyte for lithium-ion battery applications," *RSC Adv*, vol. 11, no. 37, pp. 22929–22936, Jun. 2021, doi: 10.1039/d1ra03480d.