



Ionic Conductivity Test of Chitosan Solid Electrolyte Polymer Membrane with the Addition of Ionic Liquid

Uji Konduktivitas Ionik Membran Polimer Elektrolit Padat Kitosan dengan Penambahan Cairan Ionik

Multazam^{1*}, Mohammad Ibnu Ridwan¹, dan Sun Theo C.L. Ndruru²

¹) Department of Tadris Kimia, Universitas Islam Negeri Mataram
Kampus II Universitas Islam Negeri Mataram, Mataram, Nusa Tenggara Barat, 83116

²) Pusat Riset Kimia Maju, Badan Riset dan Inovasi Nasional
Puspiptek Area Serpong, Tangerang Selatan, Banten, 15314

* Corresponding author: chemung@uinmataram.ac.id

Received: October 1, 2023 Accepted: April 26, 2024 Published: April 30, 2024

ABSTRACT

Lithium ion batteries are an alternative choice for fulfillment as an energy source. Beside that, lithium ion batteries are also use as energy storage. However, lithium ion batteries still use a liquid electrolyte which has the advantages of being toxic, explosive, and corrosive. So we need an alternative to replace liquid electrolyte, namely solid electrolyte membranes. The aim of this research is to determine the effect of adding ionic liquid [EMIm]Ac to chitosan polymer as a solid electrolyte polymer (SEP) membranes. Based on the results obtained, chitosan has been successfully isolated from chitin. Chitin isolated from shrimp shells. Based on the ionic conductivity value, the SEP membrane with the addition of 15% [EMIm]Ac ionic liquid has the highest ionic conductivity value, namely $5.02 \times 10^{-5} \text{ S cm}^{-1}$.

Keywords: battery, ionic liquid, ionic conductivity

PENDAHULUAN

Indonesia masih menggunakan energi tidak terbarukan yang berasal dari fosil. Selain itu, perkembangan teknologi juga meningkatkan kebutuhan akan energi semakin besar. Hal ini dapat dilihat penggunaan listrik dari tahun 2012-2016 mengalami peningkatan sebesar 6,7% per tahun (Azhar & Satriawan, 2018). Energi yang tidak terbarukan seperti minyak bumi saat ini cadangannya sudah berkurang akan tetapi kebutuhan akan energi semakin meningkat sehingga penelitian-penelitian mengenai energi berfokus pada pengembangan energi baru dan berkelanjutan (Gupta et al., 2018). Baterai (Rosewater et al., 2019), sel bahan bakar (Luo et al., 2021), dan

superkapasitor (Raza et al., 2018) menjadi pilihan alternatif dalam pemenuhan sebagai sumber energi. Selain sebagai sumber energi, baterai dan superkapasitor digunakan sebagai perangkat penyimpanan energi (Ndruru et al., 2022).

Baterai merupakan serangkaian sel elektrokimia yang dapat menghasilkan energi listrik. Baterai telah banyak digunakan pada alat-alat *portable* bahkan saat ini sudah digunakan pada kendaraan listrik. Pada saat ini, baterai ion litium merupakan salah satu baterai yang banyak dikembangkan. Baterai ion litium adalah alat penyimpan energi yang paling populer saat ini karena memiliki kelebihan antara lain dapat diisi ulang, desain

yang ringan, kerapatan energi yang tinggi, dan tidak memiliki efek memori. Akan tetapi, baterai ion litium masih menggunakan elektrolit cair yang memiliki kelemahan yaitu beracun, mudah meledak, dan korosif. Sehingga alternatif pengganti elektrolit cair tersebut adalah membran elektrolit padat (Ndruru et al., 2022).

Saat ini, Poly(ethylene oxide) (PEO) telah banyak digunakan sebagai polimer elektrolit padat. Akan tetapi, PEO akan mudah membentuk kristal pada suhu ruang sehingga dapat menghambat migrasi ion. Selain itu, dibutuhkan suhu yang tinggi dalam melakukan pelelehan PEO yang dapat menyebabkan terjadinya ledakan dalam baterai (Q. Zhang et al., 2017). Oleh karena itu, saat ini diperlukan pengembangan sistem baterai yang ramah lingkungan, tidak beracun, dan memiliki sifat elektrokimia yang tinggi. Pemanfaat polimer yang ramah lingkungan menjadi salah satu alternatif karena dapat terbiodegradasi. Kitosan merupakan salah satu polimer terdegradasi yang melimpah di alam.

Kitosan merupakan salah satu biopolimer yang memiliki rantai glukosamin (2-amino-2-deoksi- β -D-Glukosa) adalah hasil dari proses deasetilasi senyawa kitin. Sifat kitosan yaitu tidak beracun, terbiodegradasi, kompatibilitas dengan elektroda yang baik, dapat dimodifikasi, dan dapat dibuat dalam bentuk film. Kitosan juga memiliki kelemahan yaitu kurang larut dalam pelarut organik dan anorganik serta konduktivitas yang rendah. Akan tetapi, kitosan memiliki nilai konduktivitas ion yang lebih baik dibandingkan dengan polimer alam lainnya yaitu sebesar $6,33 \times 10^{-6}$ S/cm (Fauzi & Arcana, 2014). Oleh karena itu, perlu adanya modifikasi untuk meningkatkan konduktivitasnya dengan cara penambahan garam litium, kopolimerisasi, modifikasi gugus fungsi, dan penambahan cairan ion (Pasaribu et al., 2015).

Cairan ion merupakan garam yang stabil pada suhu kamar dan lebih ramah lingkungan jika dibandingkan dengan pelarut organik lainnya karena memiliki tekanan uap yang dapat diabaikan dan kemungkinan adanya ekstraksi cair-cair. Akan tetapi, penggunaan pada alat-alat seperti alat kesehatan, biosensor atau alat penyimpan energi dibatasi oleh bentuknya yang masih dalam wujud cairan (Guyomard-Lack et al., 2015). Oleh karena itu, untuk mengatasi kelemahan dari cairan ion makanya perlu adanya campuran antara polimer elektrolit padat dengan cairan ion.

Beberapa penelitian yang menggunakan polimer biodegradasi berisi cairan ion telah banyak dilaporkan. Sun Theo Constan Lotebulo Ndruru (2022) melaporkan bahwa pengaruh penggunaan cairan ion [EMIm]Ac pada biopolimer padat turunan selulosa MC/CMC untuk karakterisasi baterai ion litium. Biopolimer berisi cairan ion ini memiliki nilai konduktivitas ion sebesar $1,53 \times 10^{-2}$ S cm⁻¹ (Ndruru et al., 2022). Selain itu, Zhang dkk. (2021) melaporkan menggunakan beberapa cairan ion pada polimer kitosan. Cairan ion yang digunakan antara lain [BMIm]Ac, [EMIm]Ac, [EMIm]Cl, dan mPSO₃. Hasil yang diperoleh cairan ion secara umum tidak dapat melarutkan kitosan, mengurangi tingkat kristalin kitosan, meningkatkan kestabilan termal dan daya tarik membran. Selain itu, juga menunjukkan hasil bahwa terdapat perbedaan pada pengurangan tingkat kristalin masing-masing cairan ion, sudut kontak, dan derajat pengembangan (H. Zhang et al., 2021).

Berdasarkan latar belakang di atas, peneliti ingin melakukan riset tentang polimer elektrolit padat berbasis biopolimer yang berisi cairan ionik. Sehingga peneliti mengangkat tema "Biopolimer Kitosan Berisi Cairan Ionik Sebagai Polimer Elektrolit Padat Pada Baterai Ion Litium".

METODOLOGI

Bahan

Bahan yang digunakan yaitu kulit udang, NaOH, HCl 35%, 1-metilimidazolium, klorometana, timbal asetat, aseton, etil asetat, asetonitril, asam asetat, indikator pH universal, litium asetat, akuades.

Alat

Alat yang digunakan antara lain satu set alat refluks, *vaccum rotary evaporator*, FTIR, Corong *Buchner*, Erlenmeyer *Buchner*, pompa vakum.

Prosedur

Tahapan dalam penelitian ini dilakukan dalam 4 tahap, yaitu 1) Isolasi kitosan, 2) Sintesis cairan ionik, 3) Pembuatan Biopolimer, dan 4) Karakterisasi Membran Biopolimer.

1. Isolasi Kitosan

Prosedur Isolasi Kitosan mengacu pada penelitian yang dilakukan (Multazam, 2014). Tahapan ini diawali dengan Deproteinasi. Kulit udang dikumpulkan dari berbagai pasar, dibersihkan, dikeringkan, dan digerus. Dilarutkan kulit udang pada NaOH 3,5% dengan perbandingan kulit udang:NaOH 3,5% 1:10 pada suhu 60°C

selama 2 jam sambil diaduk. Disaring, dinetralkan dengan akuades, dan dikeringkan. Tahapan kedua yaitu demineralisasi. Kulit udang hasil deproteinasi dilarutkan dalam HCl 1M dengan perbandingan 1:15 sambil diaduk selama 1 jam sampai gas CO₂ tidak terbentuk. Disaring, dinetralkan dengan akuades, dan dikeringkan. Tahapan terakhir yaitu deasetilasi. Kitin hasil demineralisasi dilarutkan dalam NaOH 50% (b/v) dengan perbandingan 1:20 pada suhu 120°C selama 3 jam. Disaring, dinetralkan dengan akuades, dan dikeringkan.

2. Sintesis Cairan Ionik [EMIm]Ac

Sintesis cairan Ionik [EMIm]Ac dilakukan dalam dua tahap, yaitu pembentukan [EMIm]Ac dan pemurnian [EMIm]Ac. Untuk pembentukan [EMIm]Ac dimasukan 2,2169 g timbal asetat, 25 mL asetonitril, 1,6422 g 1-metilimidazolium, dan 3,923 g klorometana dalam labu leher tiga. Dilakukan refluks dengan suhu 60°C selama 8 jam. Untuk pemurnian dilakukan dengan mendinginkan [EMIm]Ac yang dihasilkan pada suhu ruang. Kemudian endapan putih dipisahkan dengan *suction filtration* dan dicuci dengan 10 mL etil asetat hingga bening. Etil asetat dipisahkan dengan corong pemisah. Produk yang dihasilkan dikeringkan dengan *vacuum rotary evaporator* pada suhu 60°C selama 2 jam (Wijaya, 2018).

3. Pembuatan Biopolimer Kitosan-[EMIm]Ac

Pembuatan biopolimer dengan cara penambahan cairan ionik [EMIm]Ac dengan variasi konsentrasi 0, 5, 10, 15, 20, 25, dan 30% pada membran kitosan.

4. Karakterisasi membran biopolimer

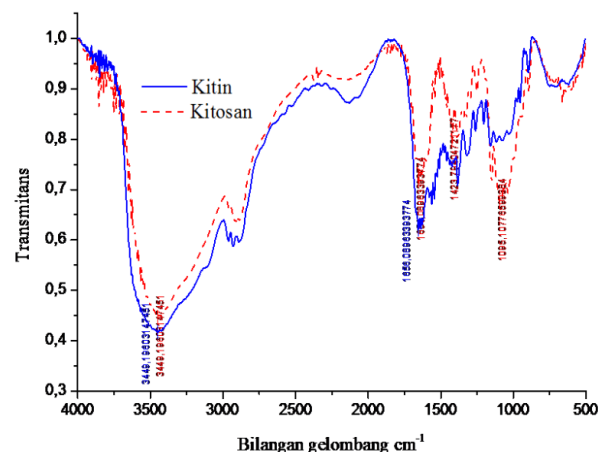
Penelitian ini menggunakan instrumen karakterisasi antara lain *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk penentuan gugus fungsi dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) untuk nilai konduktivitas ion membran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolasi Kitosan

Isolasi kitin dilakukan melalui dua tahap antara lain tahap deproteinasi dan tahap demineralisasi. Berdasarkan spektrum FTIR pada Gambar 1 memberikan informasi bahwa terdapat gugus -OH dan gugus amida (-NH) pada serapan 3120 cm⁻¹ sampai 3445 cm⁻¹. Pada serapan 1656 cm⁻¹ menginformasikan bahwa adanya gugus -C=O atau gugus karbonil.

Berdasarkan informasi dari spektrum FTIR di atas, dapat disimpulkan bahwa isolasi kitin telah berhasil dilakukan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Fauzi dimana rentang gugus -OH dan -NH terdapat pada bilangan gelombang 3436 cm⁻¹ dan 3443 cm⁻¹. Puncak pada bilangan gelombang sekitar 1632 cm⁻¹ diindikasikan merupakan gugus karbonil pada kitin (Fauzi & Arcana, 2014).



Gambar 1. Spektrum FTIR kitin dan kitosan

Selanjutnya, isolasi kitosan melalui proses tahapan deasetilasi. Proses ini menggunakan basa alkali dengan konsentrasi tinggi. Pada penelitian ini menggunakan NaOH 50%. Berdasarkan spektrum FTIR pada Gambar 1 memberikan informasi bahwa adanya serapan pada bilangan gelombang 3323 cm⁻¹ sampai 3445 cm⁻¹ yang mengindikasikan bahwa gugus hidroksida (-OH). Serapan pada bilangan gelombang 2879 cm⁻¹ sampai 2923 cm⁻¹ mengindikasikan bahwa gugus amina (NH₂). Pada serapan bilangan gelombang 1562 cm⁻¹ sampai 1663 cm⁻¹, diindikasikan bahwa merupakan gugus karbonil (-CO). Kitosan terbentuk dapat dilihat dari menurunnya intensitas gugus karbonil pada puncak gugus karbonil tersebut.

Dari hasil analisis spektrum FTIR di atas, dapat disimpulkan bahwa kitosan telah berhasil disintesis dengan baik dari senyawa kitin. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Varma dan Vasudevan bahwa pada bilangan gelombang 3594 cm⁻¹ merupakan gugus -OH *stretching* dan 2865 cm⁻¹ merupakan CH₂ *stretching*. Pada bilangan gelombang 1604, 1598, dan 1592 cm⁻¹ merupakan vibrasi amida gugus C=O *stretching* (Varma & Vasudevan, 2020).

Sintesis Cairan Ionik [EMIm]Ac

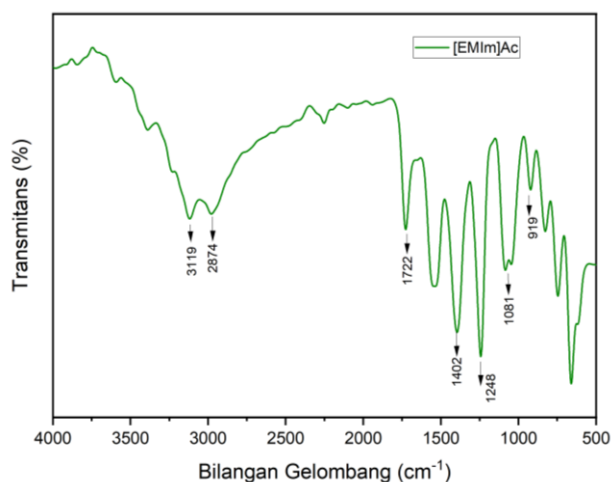
Sintesis cairan ionik [EMIm]Ac dilakukan melalui dua tahapan, yaitu pembentukan cairan

ionik dan pemurnian cairan ionik dengan metode *one pot*.



Gambar 2. Cairan ionik [EMIm]Ac

Berdasarkan Gambar 2, dapat kita lihat bahwa cairan ionik [EMIm]Ac yang dihasilkan lebih bening dibandingkan pada saat pembentukan cairan ionik [EMIm]Ac. Berdasarkan hasil analisis FTIR (Gambar 3), terdapat panjang gelombang di atas 3000 cm^{-1} yang diindikasikan merupakan ikatan vibrasi C-H dari cincin imidazolium. Panjang gelombang diantara $2800\text{--}2900\text{ cm}^{-1}$ menyatakan ikatan vibrasi alipatik simetrik (C-H) *stretch*. Jenis *stretch* simetrik dan asimetrik dari CH_2 dan CH_3 yang berulang. Panjang gelombang pada 1700 cm^{-1} menyatakan ikatan kelompok karbonil ester (C=O). Panjang gelombang antara 1400 dan 1500 cm^{-1} menyatakan ikatan vibrasi C-C *stretch*. Panjang gelombang disekitar 1200 cm^{-1} menyatakan ikatan vibrasi C-N *stretch*. Panjang gelombang disekitar $1000\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$ menyatakan ikatan vibrasi C-O *stretch*. Panjang gelombang disekitar 900 cm^{-1} menyatakan ikatan vibrasi C-H *bend* aromati (Yesudass et al., 2016).



Gambar 3. Spektrum FTIR cairan ionik [EMIm]Ac

Pembuatan Membran Polimer Elektrolit Padat

Pada penelitian ini, dilakukan pembuatan membran polimer elektrolit padat (PEP) dengan metode *casting*. Membran PEP yang dibuat antara lain membran PEP kitosan, membran PEP kitosan ditambah garam litium asetat, dan membran PEP kitosan dengan tambahan cairan ionik. Membran PEP dengan tambahan cairan ionik [EMIm]Ac dibuat dengan variasi tambahan cairan ionik 5, 10, 15, 20, 25, dan 30%. Membran yang diperoleh sesuai dengan yang diharapkan yaitu memiliki ketebalan yang kecil dan tekstur yang mirip dengan plastik. Ketebalan membran PEP yang diperoleh di bawah standar membran untuk baterai ion litium. Standar ketebalan dari suatu membran adalah 25 mm (Yue et al., 2016). Ketebalan membran dapat dilihat pada Tabel 1. Dengan membran yang tipis, dapat menguntungkan dalam melakukan konversi dalam perhitungan nilai konduktivitas ionik membran. Teknik dalam membuat membran menentukan ketebalan dari membran tersebut. Dalam penelitian ini, teknik yang digunakan adalah dengan menggunakan cetakan yang berbahan akrilik. Selain itu, mengukur volume cairan membran yang akan dituangkan ke dalam cetakan juga menjadi penting agar pada saat kering ketebalannya sesuai dengan standar untuk separator atau membran untuk baterai ion litium. Pada penelitian ini menggunakan volume 30 mL sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Fauzi et al., (2015).

Berdasarkan Tabel 1, nilai konduktivitas ionik maksimal diperoleh pada membran PEP dengan tambahan litium asetat dan cairan ionik [EMIm]Ac 15%. Cairan ionik [EMIm]Ac memberikan pengaruh terhadap nilai konduktivitas ionik meskipun pengaruhnya tidak terlalu signifikan kenaikan nilai konduktivitas ionik. Cairan ionik [EMIm]Ac memberikan ruang bagi pergerakan ion litium. Hal ini dikarenakan cairan ionik [EMIm]Ac memiliki struktur yang lebih besar sehingga dengan penambahan cairan ionik [EMIm]Ac ke membran PEP dapat meningkatkan konduktivitas ionik membran PEP (Ndruru et al., 2022).

Berdasarkan Tabel 1, menunjukkan bahwa pada 20% penambahan cairan ionik [EMIm]Ac mulai mengalami penurunan nilai konduktivitas ionik. Hal ini dapat disebabkan karena komposisi cairan ionik [EMIm]Ac yang terlalu besar sehingga terjadinya pencegahan

pergerakan ion. Pengaruh dari ion-ion cairan ionik [EMIm]Ac memberikan kontribusi terhadap nilai konduktivitas ionik membran PEP. Kation [EMIm⁺] bertindak sebagai *plasticizer* yang memberikan ruang gerak pada polimer dan memberikan ruang gerak juga untuk ion litium secara bebas (Su'ait, 2018). Selain itu, anion [CH₃COO⁻] dari [EMIm]Ac melakukan interaksi dengan ion litium. Anion [CH₃COO⁻] juga mereduksi ikatan koordinasi dengan anion dari ClO₄⁻ sehingga menyebabkan tidak terjadinya atau penghalang terjadinya pembentukan gugus ion (Ndruru et al., 2022).

Tabel 1. Ketebalan dan nilai konduktivitas membran PEP.

Membran	Ketebalan	Konduktivitas ionik (S cm ⁻¹)
Kitosan	0,007	6,37 x 10 ⁻⁸
Kitosan+Li	0,009	1,39 x 10 ⁻⁶
Kitosan+Li+IL5%	0,015	7,55 x 10 ⁻⁶
Kitosan+Li+IL10%	0,006	6,37 x 10 ⁻⁷
Kitosan+Li+IL15%	0,008	5,02 x 10 ⁻⁵
Kitosan+Li+IL20%	0,009	3,56 x 10 ⁻⁵
Kitosan+Li+IL25%	0,009	0
Kitosan+Li+IL30%	0,008	6,14 x 10 ⁻⁶

Nilai konduktivitas ionik yang dihasilkan masing-masing membran menunjukkan terjadi penurunan hambatan muatan. Dalam menyiapkan membran PEP, sangat penting dilihat dari aspek fisika dan kimia. Pada aspek fisika, perlu menyiapkan membran PEP dengan konduktivitas DC yang sangat tinggi sedangkan dalam aspek kimia, membran PEP harus memiliki hambatan transfer muatan yang rendah (Aziz et al., 2019).

Berdasarkan data pengukuran konduktivitas ionik masing-masing membran PEP yang diperoleh, dapat dikatakan bahwa semua membran PEP yang telah dibuat dapat digunakan sebagai membran PEP pada baterai ion litium kecuali pada konsentrasi 25%. Hal ini sesuai dengan rentang nilai konduktivitas separator PEO dengan penambahan garam LiClO₄ yang pada umumnya digunakan yaitu ~10⁻⁸ – ~10⁻⁶ S Cm⁻¹ (Yang & Hou, 2012).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa 1) kitosan telah berhasil disintesis dari kitin. Ini dapat dilihat dari hasil spektrum FTIR kitin dan kitosan dan 2) Nilai konduktivitas ion membran PEP Kitosan dengan penambahan cairan ionik [EMIm]Ac terbesar pada konsentrasi 15% sebesar 5,02 X 10⁻⁵ S cm⁻¹.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak LP2M Universitas Islam Negeri Mataram dan Pusat Riset Kimia Maju BRIN yang telah membantu dalam penelitian sampai artikel ini terbit.

REFERENSI

- Azhar, M., & Satriawan, D. A. (2018). Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional. *Administrative Law and Governance Journal*, 1(4), 398–412. <https://doi.org/10.14710/alj.v1i4.398-412>
- Aziz, S. B., Hamsan, M. H., Abdullah, R. M., & Kadir, M. F. Z. (2019). A Promising Polymer Blend Electrolytes Based on Chitosan: Methyl Cellulose for EDLC Application with High Specific Capacitance and Energy Density. *Molecules*, 24(13), 2503. <https://doi.org/10.3390/molecules24132503>
- Fauzi, I., & Arcana, I. M. (2014). *Solid polymer electrolyte from phosphorylated chitosan*. 154–158. <https://doi.org/10.1063/1.4868772>
- Fauzi, I., Wahyuningrum, D., & Arcana, I. M. (2015). The Influence of Succinyl Groups and Lithium Perchlorate on Chitosan Membranes as Electrolyte Polymers. *Macromolecular Symposia*, 353(1), 185–190. <https://doi.org/10.1002/masy.201550325>
- Gupta, H., Kataria, S., Balo, L., Singh, V. K., Singh, S. K., Tripathi, A. K., Verma, Y. L., & Singh, R. K. (2018). Electrochemical study of Ionic Liquid based polymer electrolyte with graphene oxide coated LiFePO₄ cathode for Li battery. *Solid State Ionics*, 320, 186–192. <https://doi.org/10.1016/j.ssi.2018.03.008>
- Guyomard-Lack, A., Buchtová, N., Humbert, B., & Le Bideau, J. (2015). Ion segregation in an ionic liquid confined within chitosan based chemical ionogels. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 17(37), 23947–23951. <https://doi.org/10.1039/C5CP04198H>
- Luo, Y., Wu, Y., Li, B., Mo, T., Li, Y., Feng, S.-P., Qu, J., & Chu, P. K. (2021). Development and application of fuel cells in the

- automobile industry. *Journal of Energy Storage*, 42, 103124. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103124>
- Multazam, M. (2014). *Analisa Charge/Discharge Membran Polimer Elektrolit Kitosan-Litium Pada Baterai Rechargeable* [Tesis]. Insitut Teknologi Bandung.
- Ndruru, S. T. C. L., Widiarto, S., Pramono, E., Wahyuningrum, D., Bundjali, B., & Arcana, I. M. (2022). The Influences of [EMIm]Ac Ionic Liquid for the Characteristics of Li-Ion Batteries' Solid Biopolymer Blend Electrolyte Based on Cellulose Derivatives of MC/CMC Blend. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 223(3), 2100362. <https://doi.org/10.1002/macp.202100362>
- Pasaribu, M. H., Arcana, I. M., & Wahyuningrum, D. (2015). *Synthesis and characterization of ionic liquid (EMImBF4)/Li+—Chitosan membranes for ion battery*. 070014. <https://doi.org/10.1063/1.4930718>
- Raza, W., Ali, F., Raza, N., Luo, Y., Kim, K.-H., Yang, J., Kumar, S., Mehmood, A., & Kwon, E. E. (2018). Recent advancements in supercapacitor technology. *Nano Energy*, 52, 441–473. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2018.08.013>
- Rosewater, D. M., Copp, D. A., Nguyen, T. A., Byrne, R. H., & Santoso, S. (2019). Battery Energy Storage Models for Optimal Control. *IEEE Access*, 7, 178357–178391. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2957698>
- Varma, R., & Vasudevan, S. (2020). Extraction, Characterization, and Antimicrobial Activity of Chitosan from Horse Mussel *Modiolus modiolus*. *ACS Omega*, 5(32), 20224–20230. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c01903>
- Wijaya, A. (2018). *SINTESIS CAIRAN (IONIC LIQUID 1-ETIL-3METILIMIDAZOLIUM ASETAT [EMIM] Ac MENGGUNAKAN METODE ONE POT DENGAN VARIASI VOLUME DAN JENIS SOLVEN* [Skripsi]. Universitas Sumatera Utara.
- Yang, M., & Hou, J. (2012). Membranes in Lithium Ion Batteries. *Membranes*, 2(3), 367–383. <https://doi.org/10.3390/membranes2030367>
- Yesudass, S., Olasunkanmi, L. O., Bahadur, I., Kabanda, M. M., Obot, I. B., & Ebenso, E. E. (2016). Experimental and theoretical studies on some selected ionic liquids with different cations/anions as corrosion inhibitors for mild steel in acidic medium. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 64, 252–268. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.04.006>
- Yue, L., Ma, J., Zhang, J., Zhao, J., Dong, S., Liu, Z., Cui, G., & Chen, L. (2016). All solid-state polymer electrolytes for high-performance lithium ion batteries. *Energy Storage Materials*, 5, 139–164. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2016.07.003>
- Zhang, H., Kong, M., Jiang, Q., Hu, K., Ouyang, M., Zhong, F., Qin, M., Zhuang, L., & Wang, G. (2021). Chitosan membranes from acetic acid and imidazolium ionic liquids: Effect of imidazolium structure on membrane properties. *Journal of Molecular Liquids*, 340, 117209. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117209>
- Zhang, Q., Liu, K., Ding, F., & Liu, X. (2017). Recent advances in solid polymer electrolytes for lithium batteries. *Nano Research*, 10(12), 4139–4174. <https://doi.org/10.1007/s12274-017-1763-4>