

PENGEMBANGAN BIO-BATERAI DENGAN ELEKTROLIT PADAT BERBASIS TEPUNG TAPIOKA DAN KOMPOSIT SERBUK KULIT UDANG/AIR LAUT SEBAGAI SUMBER ION

Rita Sulistyowati, Rosita Wati, Edy Saputra, Dui Yanto Rahman*, Joni Iswan

Program Studi Fisika, F.SAINTEK Universitas PGRI Palembang,

Palembang 30251, Indonesia

*email: duiyantorahmanmsi@gmail.com

ABSTRAK

Bio-baterai menawarkan solusi potensial sebagai alternatif baterai konvensional yang tidak ramah lingkungan dengan memanfaatkan bahan-bahan organik dan mudah didapat, seperti serbuk kulit udang dan air laut. Tujuan penelitian ini adalah menentukan komposisi optimum serbuk kulit udang dan air laut yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum. Lembaran grafit digunakan sebagai katoda dan lembaran aluminium sebagai anoda. Serbuk kulit udang dengan variasi massa 2-10 g dilarutkan dalam 20 ml air mineral (Aqua) menggunakan magnetic stirrer selama 10 menit, kemudian ditambah 35 g tepung tapioka secara bertahap hingga membentuk elektrolit padat. Elektrolit ini ditempatkan di antara lembaran grafit dan aluminium. Komposisi optimum serbuk kulit udang dikombinasikan dengan air laut (1-5 ml) untuk meningkatkan arus dan tegangan. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa bio-baterai yang hanya menggunakan larutan serbuk kulit udang menghasilkan arus maksimum 0,68 mA dan tegangan 0,803 V dengan massa optimum 6 g. Kombinasi serbuk kulit udang dan air laut menghasilkan arus 2,02 mA dan tegangan 0,858 V dengan volume optimum 3 ml air laut. Penelitian ini menunjukkan potensi besar untuk pengembangan lebih lanjut karena metodenya sederhana dan bahan yang digunakan murah serta ramah lingkungan.

Kata Kunci: Bio-Baterai; Serbuk Kulit Udang; Air Laut; Elektrolit Padat

ABSTRACT

[Title: Development of Bio-Batteries with Solid Electrolytes Based on Tapioca Flour and Shrimp Shell Powder/Seawater as an Ion Source] Bio-batteries offer a promising alternative to conventional, environmentally harmful batteries by utilizing readily available organic materials such as shrimp shell powder and seawater. The objective of this research is to determine the optimal composition of shrimp shell powder and seawater that yields maximum current and voltage. Graphite sheets were used as the cathode and aluminum sheets as the anode. Shrimp shell powder in varying masses (2-10 g) was dissolved in 20 ml of mineral water using a magnetic stirrer for 10 minutes, followed by the gradual addition of 35 g of tapioca flour to form a solid electrolyte. This electrolyte was placed between the graphite and aluminum sheets. The optimal composition of shrimp shell powder was then combined with seawater (1-5 ml) to enhance current and voltage. The results showed that the bio-battery using only the shrimp shell powder solution produced a maximum current of 0.68 mA and a voltage of 0.803 V with an optimal mass of 6 g. The combination of shrimp shell powder and seawater produced a current of 2.02 mA and a voltage of 0.858 V with an optimal volume of 3 ml of seawater. This research demonstrates significant potential for further development due to its simple method and the use of inexpensive and environmentally friendly materials.

Keywords: Bio-Battery; Shrimp Shell Powder; Seawater; Solid Electrolyte

PENDAHULUAN

Indonesia telah bergantung pada sumber energi konvensional berbasis fosil, seperti gas alam, batubara, dan minyak bumi, untuk memenuhi kebutuhan energinya. Cadangan dan sumber daya energi fosil semakin terbatas, sehingga pemerintah mulai mencari sumber energi alternatif, seperti energi baru terbarukan (EBT). EBT memiliki keunggulan karena dapat diperbaharui sepanjang

waktu (Setiabudi & Kartikasari, 2024). Sejalan dengan hal ini, ketergantungan manusia pada energi fosil semakin meningkat, sehingga mendorong pentingnya mengembangkan energi alternatif yang ramah lingkungan secara berkelanjutan di masa depan (Al-Shetwi, 2022).

Energi non-terbarukan masih menjadi prioritas utama dalam penerapannya dan belum sepenuhnya dapat tergantikan (Juwita et al., 2023), penting

untuk menyadari bahwa penggunaan energi fosil sebagai sumber utama telah menimbulkan dampak negatif yang serius bagi lingkungan dan kesehatan manusia (Syamsuddin et al., 2023). Upaya untuk beralih ke sumber energi alternatif yang sedang dikembangkan adalah energi baru terbarukan, yang berasal dari sumber alam seperti matahari, angin, dan air. Energi ini memiliki keunggulan karena dapat diperbaharui tanpa memberikan dampak negatif pada lingkungan (Paturu dan Yulianingum, 2023). Penting untuk mempertimbangkan penggunaan baterai sebagai sumber energi listrik dalam perkembangan pencarian sumber energi yang berkelanjutan.

Baterai memiliki peran yang sangat penting dalam mengoperasikan peralatan elektronik yang bersifat portabel atau dapat dibawa kemana-mana (Nasution, 2021a). Komponen utama dari baterai, seperti anoda, katoda dan larutan elektrolit, memungkinkan aliran elektron dan ion-ion untuk menghasilkan energi listrik secara berkelanjutan (Schmidt-Rohr, 2018).

Dua jenis baterai yang umum digunakan yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Keduanya memiliki sifat yang sama yaitu mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Baterai sekunder dapat diisi ulang (Rechargeable Battery) misal baterai telepon genggam. Baterai primer bersifat disposable/sekali pakai. Baterai primer mempunyai nilai ekonomis yang tinggi sehingga baterai jenis ini banyak dijumpai di toko-toko besar maupun kecil (Nasution, 2021b).

Komponen-komponen penting penyusun suatu baterai ternyata memiliki unsur kimia yang dapat membahayakan dan mencemari lingkungan dan termasuk dalam kategori limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Baterai mengandung berbagai macam bahan kimia seperti merkuri, timbal, nikel, lithium, dan kadmium yang sering ditemukan dalam baterai sekunder, serta yang ditemukan dalam baterai primer (Nasution, 2021a). Perlu adanya inovasi dalam pembuatan baterai dengan menggunakan bahan alami yang ramah lingkungan dan proses pembuatan yang sederhana agar dapat menghasilkan baterai yang ekonomis dan tetap menjaga lingkungan.

Bio-baterai terbuat dari bahan alam yang aman bagi lingkungan dan tidak mengandung zat kimia berbahaya (Masthura dan Abdullah, 2021). Pada dasarnya, bio-baterai hanya menggunakan elektrolit sebagai media untuk reaksi redoks, dimana elektron ditransfer antara dua elektroda sehingga menghasilkan arus listrik dan perbedaan potensial listrik (Dalimunthe et al., 2024). Bio-baterai terdiri dari beberapa komponen, seperti pemisah,

elektrolit, anoda, dan katoda yang dilapisi. Anoda dan katoda baterai merupakan area positif dan negatif yang memungkinkan elektron masuk dan keluar (Fitrinaryansyah, 2021).

Penelitian yang telah dilakukan difokuskan pada identifikasi komponen baterai yang memiliki sifat-sifat unik yang dapat meningkatkan kinerja perangkat sambil mempertahankan dampak lingkungan yang rendah. Penggunaan elektrolit padatan yang terdiri dari tepung tapioka, serbuk kulit udang, dan air laut sebagai komponen utama dalam bio-baterai dipilih karena keunggulan ekologisnya serta potensi untuk menggantikan bahan baku berbasis fosil dengan sumber daya alam yang dapat diperbaharui, salah satunya yaitu tepung tapioka yang memiliki beberapa keunggulan yang menjadikannya pilihan ideal untuk matriks padatan dalam bio-baterai.

Tepung tapioka, berasal dari umbi sagu, memiliki struktur yang mengandung amilosa dan amilopektin, memberikan stabilitas struktural yang baik untuk matriks padatan. Sifat-sifat tepung tapioka yang mendukung ketersediaan air dan kelarutan juga menciptakan lingkungan yang kondusif bagi aktivitas mikroorganisme dalam proses biodegradasi (Siregar, 2014), selain tepung tapioka komponen lain yang dipilih untuk digunakan dalam bio-baterai yaitu serbuk kulit udang.

Serbuk kulit udang berasal dari limbah industri perikanan, yang merupakan sumber daya yang dapat diperbaharui. Kulit udang dapat terurai secara alami dalam lingkungan karena sifat biodegradable. Hal ini dalam konteks bio-baterai membantu mengurangi dampak lingkungan yang negatif yang disebabkan oleh limbah baterai konvensional. Kulit udang mengandung kitin, yang dapat diubah menjadi senyawa-senyawa yang bermanfaat dalam pembuatan komponen baterai, serbuk kulit udang dalam pembuatan bio-baterai juga memiliki keuntungan ekonomis, karena limbah ini seringkali tersedia dengan biaya rendah atau bahkan tanpa biaya (Soeka & Triana, 2016). Komponen penting lainnya juga digunakan dalam bio-baterai yaitu air laut.

Air laut sebagai sumber ion yang melimpah dan tersedia secara luas, memiliki potensi besar dalam mendukung ketersediaan ion untuk proses elektrokimia dalam pembuatan baterai. Komposisi air laut yang kaya akan garam murni, terutama senyawa NaCl, memberikan kesempatan untuk memanfaatkan muatan bebas pada molekul air sebagai sumber energi listrik yang ekonomis dan berkelanjutan (Adriani, 2020).

Penelitian bio-baterai tidak hanya menawarkan sumber energi yang bersih dan

berkelanjutan, tetapi juga dapat menggali potensi sumber daya alam lokal yang dapat diperbaharui, seperti tepung tapioka, serbuk kulit udang dan air laut untuk mendukung keberlanjutan ekonomi masyarakat lokal. Selain itu, dapat memberikan kontribusi pada upaya mendidik masyarakat tentang pentingnya mengangkat teknologi ramah lingkungan dalam rangka menciptakan masa depan yang berkelanjutan.

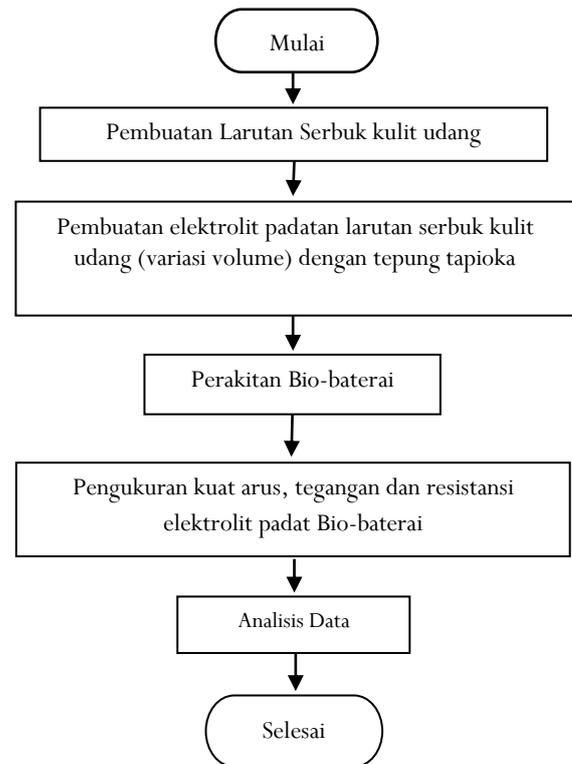
Penelitian ini didasarkan pada pemilihan elektrolit padatan berbahan tepung tapioka, serbuk kulit udang, dan air laut sebagai komponen utama dalam bio-baterai, dengan tujuan untuk memanfaatkan bahan baku berbasis nonfosil dengan sumber daya alam yang dapat diperbaharui. Baterai akan dibuat dengan metode yang sederhana menggunakan bahan-bahan yang ramah lingkungan. Bagian anoda baterai akan menggunakan lembaran aluminium, bagian katoda akan menggunakan lembaran grafit, sementara elektrolitnya akan menggunakan tepung tapioka sebagai matriks dan campuran air laut dengan serbuk kulit udang sebagai sumber ion. Proses pembuatan elektrolit padatan juga sangat sederhana, hanya melibatkan metode pencampuran yang mudah. Penggunaan bahan murah yang ramah lingkungan dan metode yang sederhana ini diharapkan dapat menghasilkan baterai yang ekonomis dan ramah lingkungan.

METODE

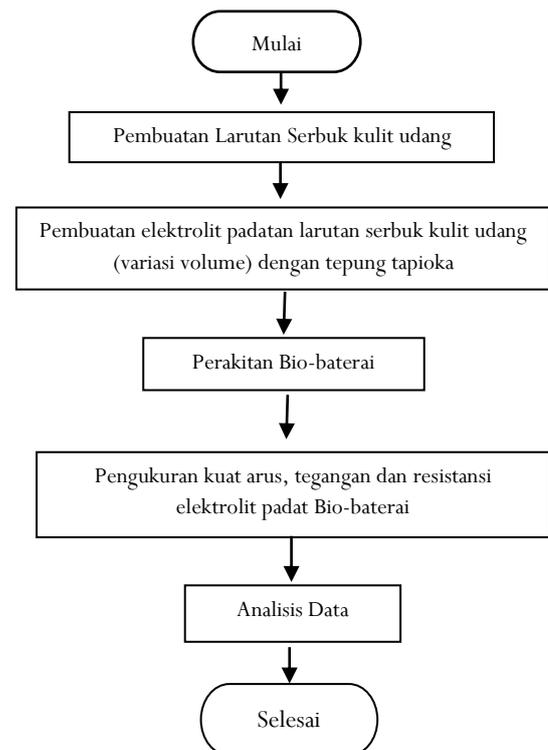
Bahan yang digunakan adalah serbuk kulit udang, air laut, dan tepung tapioka .

Serbuk kulit udang dengan variasi 2 g, 4 g, 6 g, 8 g dan 10 g dicampur dengan 20 ml air aqua diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 10 menit dengan tujuan agar ion-ion terdispersi secara merata. 35 g tepung tapioka dimasukkan ke dalam larutan serbuk kulit udang dan diaduk sampai rata sehingga terbentuk padatan elektrolit. Elektrolit padatan ini kemudian ditempatkan antara lembaran grafit dan aluminium, dan dihubungkan menggunakan kabel penjepit buaya ke alat multimeter digital (Sanwa cd800a) untuk mengukur arus dan tegangan serta menemukan titik optimum dari elektrolit padatan serbuk kulit udang.

Setelah mendapatkan hasil optimal, langkah berikutnya adalah menambahkan air laut ke dalam larutan serbuk kulit udang (massa optimum) dengan variasi 1 ml, 2 ml, 3 ml, 4 ml, dan 5 ml. Setelah itu, 35 g tepung tapioka dicampurkan untuk membentuk elektrolit padatan. Kemudian, arus dan tegangan diukur kembali untuk menemukan titik optimum dari elektrolit padatan serbuk kulit udang dan air laut.



Gambar 1. Bagan penelitian tahap I pembuatan bio-baterai menggunakan variasi serbuk kulit udang dan tepung tapioka sebagai elektrolit padatan



Gambar 2. Bagan penelitian tahap 2 pembuatan bio-baterai menggunakan serbuk kulit (komposisi optimum) dan variasi volume air laut dengan tepung tapioka sebagai elektrolit padatan

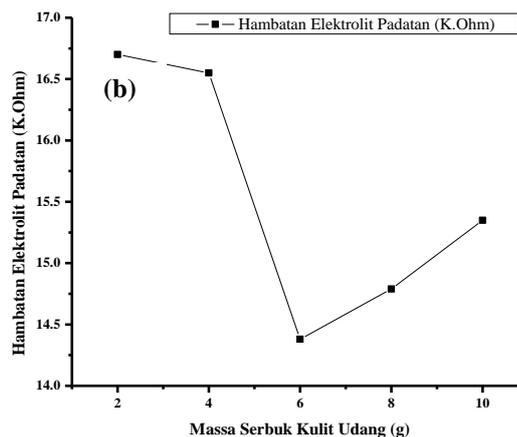
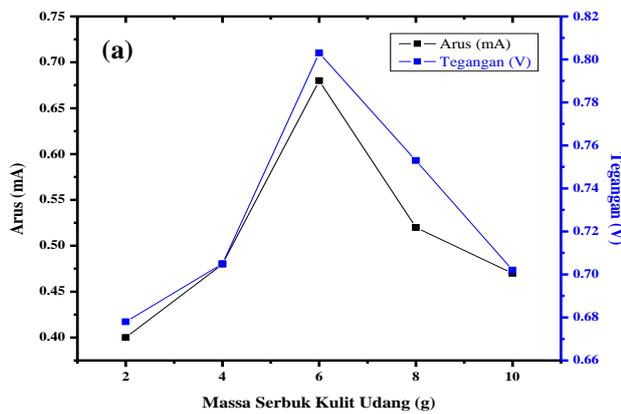
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran kuat arus dan tegangan dari bio-baterai disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah analisis hubungan antara komposisi elektrolit dan performa baterai. Grafik menunjukkan pengaruh variasi massa serbuk kulit udang dan kandungan air laut dalam elektrolit padat terhadap besar kuat arus dan tegangan yang dihasilkan. Bio-baterai ini dikembangkan dengan menggunakan tepung tapioka sebagai matriks elektrolit, serta serbuk kulit udang dan air laut sebagai sumber ion. Kombinasi bahan-bahan tersebut bertujuan untuk menghasilkan arus dan tegangan yang lebih besar.

Pengaruh penggunaan serbuk kulit udang ke dalam padatan elektrolit terhadap kinerja bio-baterai dengan parameter arus dan tegangan dapat diamati melalui Gambar 3 dan Tabel 1. Arus baterai semakin naik dengan bertambahnya massa serbuk kulit udang. Pada awalnya, arus baterai sebesar 0,40 mA saat massa serbuk kulit udang 2 g dan meningkat menjadi 0,68 mA ketika massa serbuk kulit udang 6 g. Namun, arus baterai kembali menurun ketika massa serbuk kulit udang melebihi 6 g. Pola fluktuasi arus ini juga terlihat pada parameter tegangan baterai. Awalnya, tegangan adalah 0,678 V ketika

massa serbuk kulit udang 2 g dan meningkat mencapai tegangan tertinggi 0,803 V ketika massa serbuk kulit udang 6 g.

Tegangan kembali menurun ketika massa serbuk kulit udang lebih dari 6 g. Pengukuran hambatan elektrolit cair dan padat baterai dilakukan menggunakan ohmmeter sebagai pengganti Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) untuk mengetahui penyebab perubahan tidak stabil dalam arus dan tegangan (Rahman, D. Y et al., 2021). Hasil menunjukkan bahwa perubahan arus dan tegangan dalam baterai disebabkan oleh perubahan hambatan elektrolit. Saat hambatan elektrolit padatan turun atau naik, arus dan tegangan baterai juga ikut berubah. Penurunan hambatan elektrolit padatan teramati seiring peningkatan massa serbuk kulit udang, yang menandakan peningkatan konduktivitas elektrolit padatan. Pada awalnya, hambatan tercatat sebesar 16,07 kΩ saat massa serbuk kulit udang 2 g, kemudian turun hingga mencapai titik terendah 14,38 kΩ saat massa serbuk kulit udang 6 g. Namun, hambatan meningkat kembali ketika massa serbuk kulit udang melebihi 6 g, menunjukkan penurunan konduktivitas elektrolit padatan.



Gambar 3. (a) Tegangan dan Kuat Aus, (b) Hambatan elektrolit padatan dan Hambatan elektrolit cairan untuk variasi massa serbuk kulit udang

Tabel 1. Hubungan massa serbuk kulit udang, kuat arus dan tegangan baterai, dan hambatan elektrolit padatan baterai.

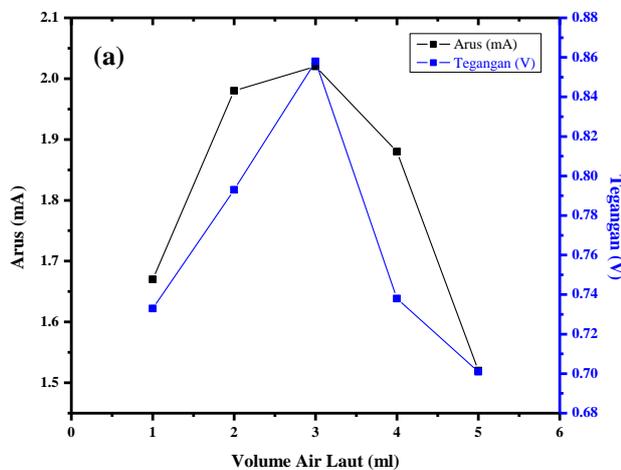
Massa Serbuk Kulit Udang (g)	Kuat Arus (mA)	Tegangan (Volt)	Hambatan Elektrolit Padatan (K. Ohm)
2	0,40	0,678	16,70
4	0,48	0,705	16,55
6	0,68	0,803	14,38
8	0,52	0,753	14,79
10	0,47	0,702	15,35

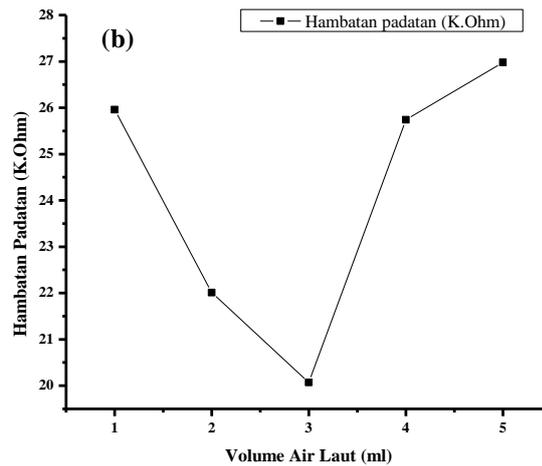
Naik dan turunnya konduktivitas sebuah elektrolit padat yang mengandung ion-ion berhubungan dengan jarak antar ion. Bila kandungan volume air laut 1 ml, maka jarak antar ion yang begitu jauh membuat pergerakan ion-ion dalam larutan menjadi lama. Bertambahnya sumber ion, maka jarak antar ion menjadi semakin dekat sehingga pergerakan ion menjadi lebih mudah. Apabila terlalu banyak ion dalam larutan elektrolit membuat ion sulit bergerak karena terdapat gaya tolak menolak antar ion dalam jarak yang terlalu dekat (Aji et al., 2012).

Serbuk kulit udang mengandung berbagai ion termasuk, ion kalsium (Ca²⁺), ion natrium (Na⁺), ion klorida (Cl⁻) dan ion potasium (K⁺). Selain itu, kulit udang mengandung ion-ion lain seperti magnesium (Mg²⁺), kalium (K⁺), fosfat (PO₄³⁻) dan beberapa ion lainnya. Ketika serbuk

kulit udang diekstraksi, ion-ion yang terkandung di dalamnya bisa dilepaskan dan dimanfaatkan sebagai sumber ion dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam pembuatan bio-baterai (Soeka & Triana, 2016).

Pengaruh penggunaan air laut yang dideposisikan ke dalam padatan tepung tapioka dan serbuk kulit udang terhadap kinerja bio-baterai terhadap arus dan tegangan ditunjukkan pada Gambar 4 dan Tabel 2. Arus baterai meningkat seiring bertambahnya volume air laut, mulai dari 1,67 mA ketika volume air laut 1 ml dan terus naik sampai menjadi 2,02 mA ketika volume air laut 3 ml. Arus baterai kembali menurun ketika volume air laut melebihi 3 ml. Pola perubahan arus ini diikuti oleh tegangan baterai, yang meningkat dari 0,733 V pada volume 1 ml dan hingga mencapai puncaknya pada 0,858 V pada volume air laut 3 ml, kemudian menurun ketika volume air laut melebihi dari 3 ml.





Gambar 4. (a) Tegangan dan Arus, (b) Hambatan elektrolit padatan dan Hambatan elektrolit cair baterai, untuk variasi massa serbuk kulit udang dalam volume optimum air laut

Tabel 2. Hubungan volume air laut, kuat arus dan tegangan baterai, dan hambatan elektrolit padatan baterai.

Volume Air Laut (ml)	Kuat Arus (mA)	Tegangan (Volt)	Hambatan Elektrolit Padatan (K. Ohm)
1	1,67	0,733	25,96
2	1,98	0,793	22,01
3	2,02	0,858	20,07
4	1,88	0,738	25,74
5	1,52	0,701	26,98

Untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi fluktuasi arus dan tegangan dalam baterai, dilakukan pengukuran terhadap hambatan elektrolit padatan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa perubahan arus dan tegangan dipengaruhi oleh perubahan hambatan elektrolit padatan. Hambatan elektrolit menurun seiring bertambahnya volume air laut, yang menunjukkan peningkatan konduktivitas elektrolit. Pada awalnya, hambatan berada pada 25,96 kΩ saat volume air laut 1 ml, dan terus menurun hingga mencapai 20,07 kΩ saat volume air laut 3 ml. Setelah volume air laut melebihi 3 ml, hambatan kembali meningkat, menunjukkan penurunan konduktivitas elektrolit padatan.

Penelitian yang sama terkait naik dan turunnya konduktivitas elektrolit polimer padatan yang menggunakan dua jenis ion, yaitu pada tahap awal digunakan sistem CaCl₂-H₂O dengan variasi molalitas CaCl₂ terdiri dari 1, 2, 3 4, 5 dan 6 (m/mol kg). Konsentrasi optimum terjadi ketika molalitas CaCl₂ adalah kurang lebih 3 m/mol kg yang menghasilkan konduktivitas maksimum (180 K/mS cm⁻¹). Konduktivitas mulai turun ketika molalitas CaCl₂ lebih dari 3 m/mol kg Selanjutnya sistem CaCl₂-H₂O ditambahkan PC dengan variasi

0.0208, 0.0425, dan 0.0880 fraksi berat. Konduktivitas sistem CaCl₂-PC-H₂O menunjukkan pola seperti parabola yang ditandai dengan peningkatan di awal kemudian mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya konsentrasi elektrolit.

Pola naik dan turunnya konduktivitas disebabkan oleh adanya Ca²⁺, ion bivalen yang mengalami gaya elektrostatis yang kuat dan interaksi jarak pendek selama migrasi ion di bawah medan listrik eksternal. Akibatnya, penurunan mobilitas Ca²⁺ terlihat jelas pada konsentrasi elektrolit yang tinggi, yang menyebabkan munculnya nilai konduktivitas maksimum. Selain itu, perubahan konduktivitas sistem CaCl₂-PC-H₂O sebagai respons terhadap perubahan konsentrasi PC dalam pelarut (Zhang et al., 2020).

KESIMPULAN DAN SARAN

Bio-baterai dengan struktur yang menggunakan grafit sebagai katoda, aluminium sebagai anoda, dan elektrolit padatan berbahan tepung tapioka sebagai matriks serta serbuk kulit udang dan air laut sebagai sumber ion telah berhasil difabrikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baterai dengan sumber ion serbuk kulit udang saja

memiliki konsentrasi optimum pada 6 g yang menghasilkan tegangan 0,803 V dan arus 0,68 mA. Sementara itu, baterai dengan sumber ion gabungan air laut dan serbuk kulit udang memiliki konsentrasi optimum pada 6 g serbuk kulit udang dan 3 ml air laut yang menghasilkan tegangan 0.858 V dan arus 2,02 mA. Penelitian ini layak untuk dikembangkan lebih lanjut karena menggunakan material yang ekonomis, ramah lingkungan, serta metode yang sederhana.

UCAPAN TERIMAKASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPKM) Universitas PGRI Palembang yang telah mendanai penelitian ini..

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Shetwi, A. Q. (2022). Sustainable Development Of Renewable Energy Integated Power Sector: Trends, Environmental Impacts, And Recent Challenges. *Science Of The Total Environment*, 822, 15364
- Setiabudi, I. M., & Kartikasari, G. (2024). Membangun Ketahanan Energi & Komitmen Global Melalui Formulasi Standar Energi Baru. *Standar: Better Standard Better Living*, 3(1), 13–17.
- Juwita, J., Yana, S., Maksalmina, M., Mahdi, M., Fitriiana, F., Hanum, F., & Kasmaniar, K. (2023). Peluang Ekspansi Energi Terbarukan Biomassa Dengan Analisis Swot. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(1), 45-56.
- Paturu, R. O., & Yulianingum, A. V. (2023). Urgensi Pengembangan Kebijakan Energi Baru Dan Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional. *Jurnal Ilmu Pendidikan Dan Sosial*, 2(2), 170–182.
- Syamsuddin, N., Yana, S., Nelly, N., Maryam, M., Fitriiana, F., & Arsyad, A. (2023). Permintaan Pasar Untuk Produk Dan Layanan Energi Terbarukan (Perspektif Daya Saing Energi Terbarukan Indonesia). *Jurnal Serambi Engineering*, 8(1), 45-56.
- Nasution, M. (2021a). Karakteristik Baterai Sebagai Penyimpan Energi Listrik Secara Spesifik. *Jet (Journal Of Electrical Technology)*, 6(1), 35–40.
- Nasution, M. (2021b). Mengaplikasikan Sel Volta Dalam Pembuatan Baterai Sebagai Penyimpa Energi. *Jet (Journal Of Electrical Technology)*, 6(3), 152–154.
- Schmidt-Rohr, K. (2018). How Batteries Store And Release Energy: Explaining Basic Electrochemistry. *Journal Of Chemical Education*, 95(10), 1801–1810.
- Masthura, M., & Abdullah, A. (2021). Pemanfaatan Sari Nenas Sebagai Sumber Energi Alternatif Pembuatan Bio-Baterai. *Circuit: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 5(1), 51–58.
- Dalimunthe, L. H., Fitriya, N., & Wirman, S. P. (2024). Pemanfaatan Kulit Nenas Dengan Variasi Kcl, Gliserol Dan Air Semen Sebagai Elektrolit Untuk Aplikasi Biobaterai Ramah Lingkungan. *Jurnal Fisika Unand*, 13(1), 117–124.
- Fitriyansyah, F. (2021). Pengaruh Variasi Daun Talas Terhadap Tegangan Listrik Pada Harvesting Energy. *Journal of Sustainable Energy Research*, 12(4), 101-109.
- Siregar, N. S. (2014). Karbohidrat. *Jurnal Ilmu Keolahragaan*, 13(02), 38–44.
- Soeka, Y. S., & Triana, E. (2016). Pemanfaatan Limbah Kulit Udang Untuk Menghasilkan Enzim Kitinase Dari *Streptomyces Macrosporeus Inacc A454*. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, 18(01), 91–101.
- Adriani, A. (2020). Pemanfaatan Air Laut Sebagai Sumber Cadangan Energi Listrik. *Vertex Elektro*, 12(2), 22–33.
- Rahman, D. Y., Utami, F. D., Amalia, N., Sulistyowati, R., Sustini, E., & Abdullah, M. (2021). Low-cost solar cell using PVA. NaCl polymer electrolyte as hole transport medium and graphite/TiO₂ composite as photon-absorbing materials. *Materials Today: Proceedings*, 44, 3301-3304.
- Aji, M. P., Bijaksana, S., & Abdullah, M. (2012). A General Formula For Ion Concentration-Dependent Electrical Conductivities In Polymer Electrolytes. *American Journal Of Applied Sciences*, 9(6), 946.
- Zhang, W., Chen, X., Wang, Y., Wu, L., & Hu, Y. (2020). Experimental And Modeling Of Conductivity For Electrolyte Solution Systems. *Acs Omega*, 5(35), 22465–22474.