

Studi Pengaruh Variasi Konsentrasi Garam Dapur (NaCl) sebagai Larutan Elektrolit dan pH Bahan Baku dalam Pembuatan Biobaterai Kering Berbasis Limbah Kulit Pisang Kepok

Study of the Effect of Variations in Concentration of Kitchen Salt (NaCl) as an Electrolyte Solution and pH of Raw Materials in Making Dry Bio Batteries Based on Kepok Banana Peel Waste

Maya Sarah*, Elfina Rahmania Zelfi, Marisa Pancar Kuswara, Isti Madinah Hasibuan
Departemen Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara, Jl. Almamater, Kampus USU, Padang Bulan, Kota Medan, 20155, Indonesia

*Email: maya3@usu.ac.id

Article history:

Diterima : 27 Maret 2023
Direvisi : 4 Juli 2023
Disetujui : 24 Februari 2024
Mulai online : 23 Maret 2024

E-ISSN: 2337-4888

How to cite:

Maya Sarah, Elfina Rahmania Zelfi, Marisa Pancar Kuswara, dan Isti Madinah Hasibuan. (2024). Studi Pengaruh Variasi Konsentrasi Garam Dapur (NaCl) sebagai Larutan Elektrolit dan pH Bahan Baku dalam Pembuatan Biobaterai Kering Berbasis Limbah Kulit Pisang Kepok. Jurnal Teknik Kimia USU, 13(1), 32-39.

ABSTRAK

Baterai adalah sumber energi sekali pakai. Limbah baterai yang dibuang ke tanah akan menghasilkan limbah yang sulit terurai secara alami. Baterai mengandung bahan kimia yang bersifat racun bagi kesuburan tanah, seperti kalium dan natrium. Salah satu cara untuk memanfaatkan limbah baterai adalah dengan mengubahnya menjadi biobaterai. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meminimalisir limbah baterai dan kulit pisang kepok yang kurang termanfaatkan dengan membuat biobaterai yang ramah lingkungan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui tegangan, arus, dan daya biobaterai berbahan dasar kulit pisang kepok. Metode yang digunakan adalah dengan melakukan uji coba biobaterai dengan menggunakan pasta dari kulit pisang kepok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kulit pisang kepok dapat menghantarkan listrik, sehingga dapat digunakan sebagai pasta pada biobaterai. Tegangan terbesar yang dihasilkan adalah 1,38 volt, sedangkan arus terbesar yang dihasilkan adalah 0,95 A. Biobaterai ini dapat bertahan rata-rata selama 3 hari 8 jam atau 92,5 jam.

Kata kunci: biobaterai, fermentasi, kulit pisang kepok, tegangan, arus

ABSTRACT

Batteries are single-use energy. Battery waste disposed on the ground will produce waste that is difficult to decompose naturally. Batteries contain chemicals that are toxic to soil fertility, such as potassium and sodium. One way to utilize battery waste is to turn it into bio-batteries. This research aims to minimize the waste of batteries and kepok banana peels that are underutilized by making environmentally friendly bio-batteries. This study also determines the voltage, current, and power of kepok banana skin-based bio-batteries. The method used is to conduct biobattery trials using paste from kepok banana peels. The results showed that kepok banana peels could conduct electricity to be used as a paste for bio-battery. The most significant voltage generated is 1.38 volts, while the largest current generated is 0.95 A. This bio-battery can last an average of 3 days 8 hours or 92.5 hours.

Keyword: biobattery, fermentation, kepok banana peel, voltage, current

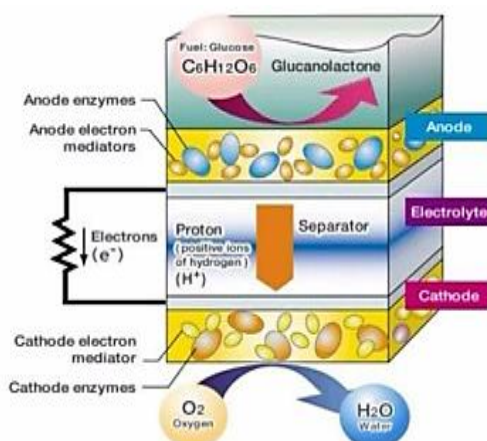


This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.
<https://doi.org/10.32734/jtk.v13i1.11622>

1. Pendahuluan

Energi listrik memiliki peran yang sangat penting dalam kehidupan. Baterai merupakan salah satu sumber energi listrik yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Baterai konvensional yang beredar secara komersil menghasilkan limbah yang dapat mengganggu kesehatan manusia serta mencemari lingkungan. Tingginya kebutuhan manusia terhadap sumber energi listrik, salah satunya adalah baterai, menyebabkan semakin tinggi juga limbah yang dihasilkan. Oleh sebab itu, untuk mengatasi permasalahan yang disebabkan oleh penggunaan baterai konvensional, perlu untuk menemukan solusi atau alternatif yang dapat menggantikan baterai konvensional. Alternatif dari baterai konvensional yang dapat dikembangkan adalah biobaterai. Biobaterai merupakan penghasil energi listrik yang berasal dari bahan organik [1]. Bahan organik sebagai bahan baku pembuatan biobaterai dapat berasal dari limbah buah-buahan yang diperoleh dari pasar dan rumah tangga [2]. Limbah buah-buahan yang tidak terpakai dapat diolah menjadi sesuatu yang bernilai guna dan ramah lingkungan dengan mengubahnya menjadi biobaterai ramah lingkungan [3].

Sel volta adalah sel elektrokimia yang mengubah reaksi kimia menjadi energi listrik. Dalam sel volta, terdapat anoda (-) dan katoda (+). Pelepasan dan penangkapan elektron antara katoda dan anoda menimbulkan suatu gerakan yang disebut sebagai energi listrik [4]. Biobaterai merupakan alat penyimpan energi yang berasal dari senyawa organik. Baterai menghasilkan listrik dari bahan bakar terbarukan yang mengandung glukosa, sukrosa, fruktosa, dan lain-lain. Biobaterai terdiri dari dua logam berbeda yang tersuspensi di dalam larutan asam [1]. Biobaterai terdiri dari empat komponen, yaitu anoda, katoda, elektrolit, dan separator. Susunannya dapat dilihat pada Gambar 1. Keempat komponen tersebut dalam keadaan tertutup satu sama lain dan disusun menjadi satu. Sama seperti baterai konvensional, anoda bermuatan negatif dan katoda bermuatan positif. Perbedaan antara anoda dan katoda memungkinkan aliran elektron di dalam dan di luarnya. Pada susunan biobaterai, anoda terletak di bagian atas baterai, sedangkan katoda disusun di bagian bawah baterai. Elektrolit yang mengandung pemisah terletak di antara kedua ikatan ini [5].



Gambar 1. Skema komponen biobaterai [5]

Salah satu bahan organik yang dapat digunakan untuk pembuatan biobaterai adalah limbah kulit pisang kepok. Kulit pisang pada umumnya mengandung karbohidrat dan kaya akan mineral seperti kalium, magnesium, fosfor, klorida, kalsium, dan besi. Karbohidrat mengandung glukosa yang apabila dicampur dengan air dan didiamkan dalam ruang kedap udara selama beberapa hari, maka akan terjadi fermentasi, sehingga diperoleh etanol. Seiring dengan berjalannya waktu, etanol akan teroksidasi menjadi asam etanoat atau asam asetat. Asam asetat merupakan salah satu jenis elektrolit. Sifat asam pada kulit pisang yang sudah difermentasi disebabkan oleh adanya kandungan asam asetat [6]. Kulit pisang juga mengandung elektrolit lain, yaitu mineral kalium (K^+) dan terdapat sedikit garam sodium. Reaksi antara K^+ dan garam sodium membentuk kalium klorida (KCl) yang merupakan elektrolit kuat yang mampu terionisasi dan menghantarkan listrik [7]. Kulit pisang kepok mengandung 11,82% karbohidrat, 1,95% protein, 5,93% lemak, 8,37% serat, dan berbagai mineral seperti fosfor, zat besi, kalsium, magnesium, natrium, seng, tembaga, kalium, dan mangan [8].

Pulungan dkk (2017) melakukan studi pembuatan biobaterai berbahan dasar kulit pisang ambon, barangan, dan bantan, dengan perlakuan penambahan garam dan tanpa penambahan garam. Hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa kulit pisang yang paling baik sebagai bahan substitusi pembentuk sumber energi baterai adalah kulit pisang ambon dengan tegangan 0,85 V – 0,95 V, arus 1,5 mA – 2,5 mA, kapasitas 1,275 W – 2,375 W, dan ketahanan listrik selama 14 jam - 16 jam [9]. Penelitian lainnya dilakukan oleh Arizona dkk (2021) yang membuat biobaterai dari kulit pisang batu dengan campuran variasi garam sebagai elektrolit isian biobaterai. Biobaterai yang dihasilkan dari kulit pisang batu memiliki tegangan 1,24 V dan kapasitas 0,496

mW [10]. Ristiono (2021) memanfaatkan limbah kulit pisang ambon dan kulit pisang muli sebagai komponen baterai ramah lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata tegangan dan kuat arus yang dihasilkan oleh baterai dari kulit pisang ambon adalah 1,0 V dan 9 mA serta rata-rata tegangan dan kuat arus yang dihasilkan oleh baterai dari kulit pisang muli adalah 0,93 V dan 5,8 mA [11]. Pada penelitian ini, digunakan kulit pisang kepok yang difermentasi terlebih dahulu dengan cuka apel, bertujuan untuk meningkatkan sifat elektrolit kulit pisang kepok. Kulit pisang mengandung glukosa yang ketika dicampurkan dengan air selama beberapa waktu akan terjadi fermentasi dan menghasilkan etanol, selanjutnya etanol akan teroksidasi menjadi elektrolit asam [12]. Penambahan cuka bertujuan untuk mempercepat reaksi kimia pada ekstrak kulit pisang dan cuka digunakan sebagai pelarut karena memiliki sifat elektrolit yang lemah [13].

Ketersediaan limbah kulit pisang kepok yang melimpah dan tidak bernilai guna serta adanya kandungan elektrolit dalam kulit pisang kepok menjadi dasar pemilihan kulit pisang kepok sebagai bahan pembuatan biobaterai. Studi ini diharapkan dapat mengurangi limbah kulit pisang kepok yang terbuang dan limbah baterai konvensional yang dapat diolah lagi menjadi biobaterai yang ramah lingkungan. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui tegangan, arus, dan daya biobaterai yang berbahan dasar dari kulit pisang kepok.

2. Metode

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kulit pisang kepok yang dikumpulkan dari limbah pasar dan rumah tangga, cuka apel *Bragg* dan garam dapur (NaCl) *Dolpin* yang dibeli di pasar swalayan, dan *aquadest* (H₂O) yang diperoleh dari toko bahan kimia.

Peralatan

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah batang pengaduk kaca 20 cm, baterai ukuran AA, *beaker glass Pyrex* 250 mL, multimeter digital DT-830B, neraca digital, obeng, pipet tetes kaca 15 cm, pisau, saringan, dan rangkaian lampu.

Prosedur Penelitian

Penelitian diawali dengan persiapan bahan baku. Kulit pisang kepok dicuci hingga bersih, lalu dipotong hingga berukuran kecil. Kulit pisang kepok sebanyak 50 g direndam dalam larutan cuka apel dengan konsentrasi 80% dan 90% sebanyak 100 mL, kemudian wadah fermentasi ditutup menggunakan aluminium foil dan fermentasi dilakukan selama 24 jam dalam tempat yang gelap. Kulit pisang kepok hasil fermentasi disaring menggunakan saringan dan dihaluskan menggunakan *blender* dengan penambahan air 25 mL. Pasta kulit pisang kepok lalu dipisahkan menjadi dua bagian dengan masing-masing berat 25 g dan ditambahkan larutan NaCl sebanyak 0,75 g dengan konsentrasi masing-masing 1,5 M dan 2 M. Pada penelitian ini, digunakan batu baterai ukuran AA. Kulit baterai bagian luar dilepaskan, kemudian batang elektroda dan karbon dikeluarkan dari dalam batu baterai. Pasta kulit pisang kepok dimasukkan ke dalam batu baterai dan ujung batang elektroda ditutup [3, 7, 9], kemudian diukur tegangan, arus, dan daya tahan baterai menggunakan multimeter. Biobaterai yang dihasilkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



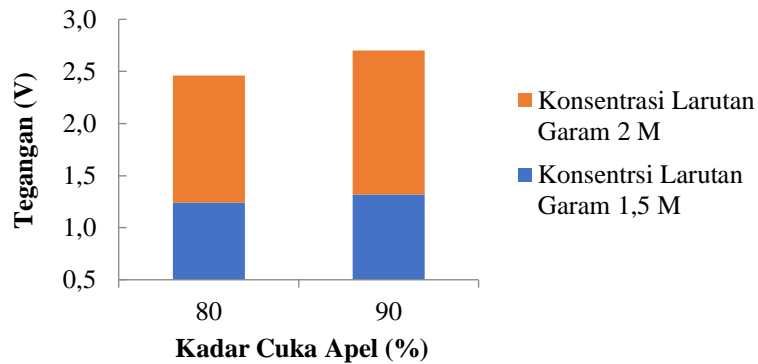
Gambar 2. Biobaterai dari kulit pisang kepok

3. Hasil

Pengaruh Kadar Cuka Apel dan Konsentrasi Garam NaCl terhadap Tegangan Baterai

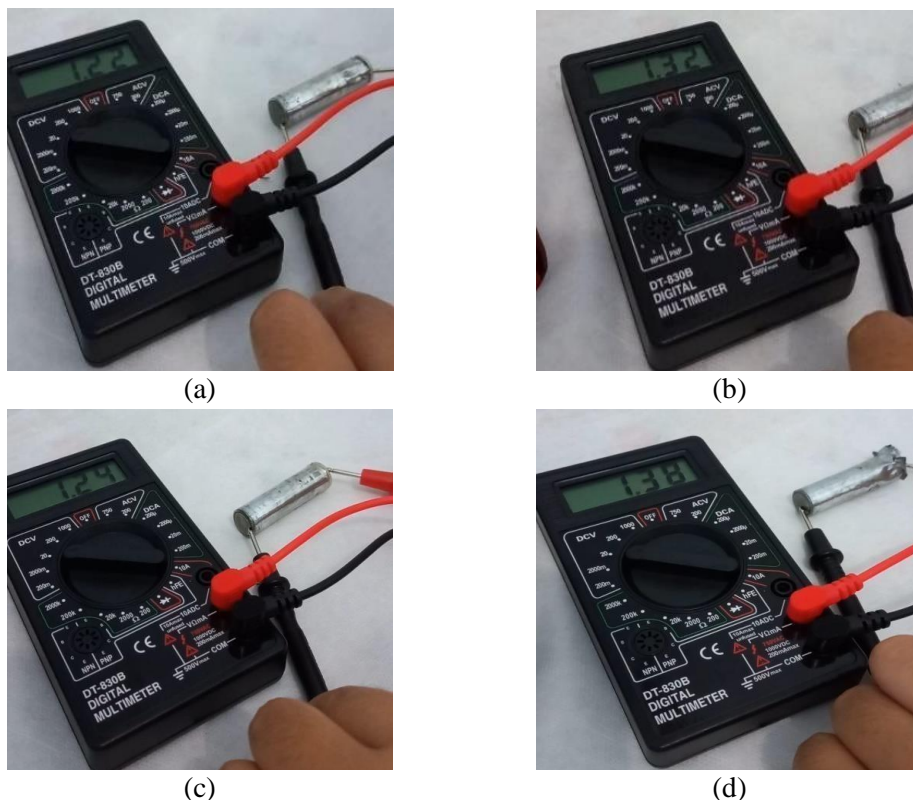
Proses fermentasi kulit pisang kepok dilakukan selama 24 jam dengan menggunakan cuka apel sebagai fermentor serta penambahan garam dapur (NaCl) sebagai larutan elektrolit dengan variasi kadar cuka apel 80% dan 90% serta konsentrasi garam dapur (NaCl) 1,5 M dan 2 M. Tegangan yang dihasilkan pada kadar cuka

apel 80% dan 90% dengan konsentrasi larutan NaCl 1,5 M berturut-turut adalah 1,22 V dan 1,32 V. Tegangan yang dihasilkan pada kadar cuka apel 80% dan 90% dengan konsentrasi larutan NaCl 2 M berturut-turut adalah 1,24 V dan 1,38 V. Pada Gambar 3 terlihat bahwa semakin besar kadar cuka apel, maka tegangan yang dihasilkan semakin besar. Fermentasi kulit pisang kepok dengan cuka apel dan air dapat meningkatkan arus listrik yang dihasilkan oleh biobaterai karena pada proses fermentasi, dihasilkan etanol yang kemudian teroksidasi menjadi asam etanoat atau asam asetat. Asam asetat merupakan salah satu jenis elektrolit [6]. Oleh sebab itu, semakin tinggi keasaman yang dihasilkan, maka kekuatan elektrolit makin meningkat, sehingga menjadi lebih reaktif dengan elektroda dan menghasilkan tegangan tinggi.



Gambar 3. Pengaruh kadar cuka apel dan konsentrasi garam terhadap tegangan baterai

Kulit pisang kepok yang sudah difermentasi memiliki sifat asam yang berasal dari kandungan asam asetat. Hal tersebut terbukti pada saat pH larutan diukur dan menghasilkan pH berkisar antara 4 - 5, sehingga tegangan yang dihasilkan semakin tinggi apabila nilai pH semakin rendah [1] serta penambahan elektrolit berupa larutan NaCl sebagai larutan elektrolit yang dapat menghantarkan arus listrik pada biobaterai [14]. Pengukuran tegangan baterai pada kadar cuka apel 80% dan 90% dengan konsentrasi larutan garam 1,5 M dan 2 M dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengukuran tegangan baterai pada lama fermentasi 24 jam dengan (a) kadar cuka apel 80% dan konsentrasi larutan garam 1,5 M; (b) kadar cuka apel 90% dan konsentrasi larutan garam 1,5 M; (c) kadar cuka apel 80% dan konsentrasi larutan garam 2 M; (d) kadar cuka apel 90% dan konsentrasi larutan garam 2 M

Tabel 1 memperlihatkan tegangan dan masa pakai biobaterai dari berbagai jenis kulit pisang [3]. Kuat arus dan tegangan biobaterai berbeda tergantung pada jenis limbahnya karena limbah buah dan sayuran memiliki tingkat keasaman yang berbeda serta proses fermentasi pada buah dan sayuran dapat menghasilkan asam yang berbeda dalam menghasilkan elektrolit pada biobaterai [15]. Baterai konvensional jenis primer atau baterai sekali pakai pada umumnya memiliki tegangan sebesar 1,5 V [16]. Tegangan biobaterai dari kulit pisang kepok yang diperoleh pada penelitian ini berkisar antara 1,22 V - 1,38 V. Jika dibandingkan dengan tegangan biobaterai dari kulit pisang ambon, kulit pisang raja sere, dan kulit pisang raja bulu yang dilampirkan pada Tabel 1, dapat disimpulkan bahwa tegangan biobaterai dari kulit pisang kepok yang diperoleh pada penelitian ini lebih tinggi meskipun belum memenuhi standar tegangan baterai konvensional, yaitu 1,5 V. Hal ini kemungkinan karena bahan yang digunakan pada biobaterai limbah kulit pisang memiliki ketahanan yang kecil dibandingkan dengan baterai konvensional. Kulit pisang secara umum mengandung karbohidrat sebesar 18,50% [17] yang menjadikannya berpotensi sebagai elektrolit untuk biobaterai. Tegangan biobaterai dari kulit pisang kepok yang diperoleh pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan jenis kulit pisang lain, kemungkinan karena adanya penambahan cuka apel pada fermentasi pembuatan pasta kulit pisang kepok yang memengaruhi keasaman bahan. Hubungan kuat arus listrik dengan keasaman suatu bahan adalah berbanding terbalik, semakin asam (semakin kecil pH), maka arus listrik bahan tersebut semakin besar dan semakin besar nilai pH, maka semakin kecil kuat arus listrik yang dihasilkan [18]. Semakin asam larutan elektrolit, maka konsentrasi ion hidrogennya semakin tinggi dan arus listrik yang dihantarkan dari anoda ke katoda semakin besar [19].

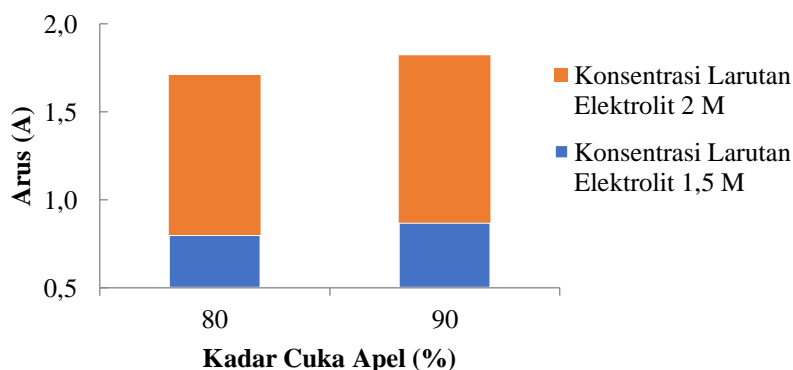
Tabel 1. Tegangan dan masa pakai biobaterai dari berbagai jenis kulit pisang [3]

Limbah Kulit Pisang	Tegangan (V)	Masa Pakai (menit)
Kulit Pisang Ambon	1,09	127
Kulit Pisang Raja Sere	1,03	125
Kulit Pisang Raja Bulu	1,1	312

Pengaruh Kadar Cuka Apel dan Konsentrasi Garam Dapur (NaCl) terhadap Arus Baterai

Pengaruh kadar cuka apel dan konsentrasi garam dapur (NaCl) terhadap kuat arus baterai dilampirkan pada Gambar 5, terlihat bahwa semakin besar kadar cuka apel, maka arus listrik yang dihasilkan semakin besar. Proses fermentasi menggunakan cuka apel 80% dan 90% dengan konsentrasi larutan garam 1,5 M menghasilkan kuat arus berturut-turut 0,8 A dan 0,87 A. Penggunaan kadar cuka apel 80% dan 90% dengan konsentrasi larutan garam 2 M menghasilkan kuat arus berturut-turut adalah 0,91 A dan 0,95 A.

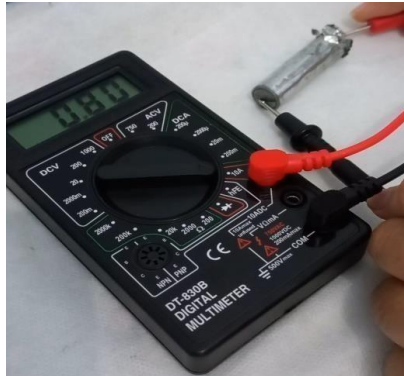
Hasil pengukuran kuat arus baterai dari kulit pisang kepok dapat dilihat pada Gambar 6, yang menyatakan bahwa semakin besar kadar cuka apel, maka arus listrik yang dihasilkan semakin besar. Hal ini disebabkan oleh terjadinya penurunan nilai pH selama proses fermentasi yang diakibatkan oleh aktivitas mikroorganisme dalam bahan yang semakin meningkat. Sementara itu, semakin lama waktu fermentasi, maka semakin banyak pula mikroorganisme yang aktif. Mikroorganisme tersebut dapat mengoksidasi senyawa organik menjadi karbon dioksida dengan cara transfer elektron. Selama proses transfer elektron inilah terdapat keluaran yang berupa kuat arus [20]. Arus yang dihasilkan baterai akan tinggi apabila tegangan yang dihasilkan juga tinggi dan sebaliknya [7].



Gambar 5. Pengaruh kadar cuka apel dan konsentrasi garam dapur (NaCl) terhadap kuat arus baterai

Hasil yang sama juga diperoleh oleh Kholida dan Pujayanto (2015) yang melakukan studi hubungan kuat arus listrik dengan keasaman buah jeruk dan mangga. Larutan buah yang memiliki nilai rata-rata pH dari yang

terkecil sampai yang terbesar berserta besar arus yang dihasilkan adalah jeruk nipis (2,39; 1,22 mA), jeruk pontianak (2,65; 0,93 mA), jeruk keprok (3,43; 0,67 mA), mangga arumanis (4,36; 0,26 mA), mangga manalagi (4,40; 0,20 mA), dan mangga sengir (4,77; 0,04 mA). Penelitian tersebut menunjukkan hubungan terbalik antara nilai pH dan kuat arus listrik. Semakin kecil nilai pH buah jeruk dan mangga, maka semakin besar arus yang dihasilkan dan sebaliknya, semakin besar nilai pH buah jeruk dan mangga, maka semakin kecil nilai arus yang dihasilkan [18].



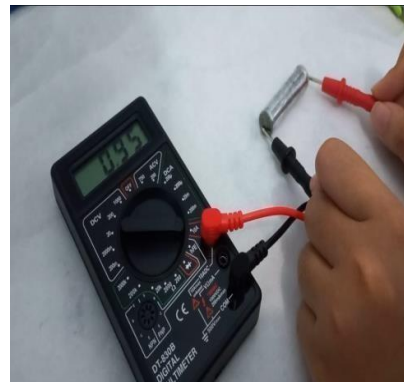
(a)



(b)



(c)

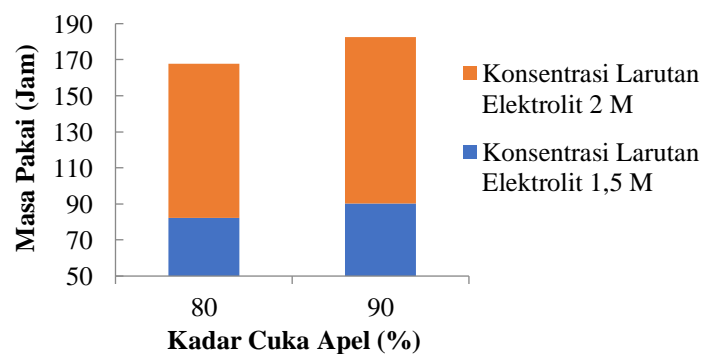


(d)

Gambar 6. Pengukuran arus baterai pada lama fermentasi 24 jam dengan (a) kadar cuka apel 80% dan konsentrasi larutan garam 1,5 M; (b) kadar cuka apel 90% dan konsentrasi larutan garam 1,5 M; (c) kadar cuka apel 80% dan konsentrasi larutan garam 2 M; (d) kadar cuka apel 90% dan konsentrasi larutan garam 2 M

Pengaruh Kadar Cuka Apel dan Konsentrasi Garam Dapur (NaCl) terhadap Masa Pakai Baterai

Gambar 7 menampilkan pengaruh kadar cuka apel dan konsentrasi garam dapur terhadap masa pakai baterai dari kulit pisang kepok. Daya tahan baterai pada kadar cuka apel 80% dan 90% dengan penambahan variasi konsentrasi larutan NaCl 1,5 M berturut-turut adalah 82,3 jam dan 90,2 jam. Pada waktu fermentasi 24 jam, masa pakai baterai yang dihasilkan pada kadar cuka apel 80% dan 90% dengan konsentrasi larutan NaCl 2 M berturut-turut adalah 85,6 jam dan 92,5 jam.



Gambar 7. Pengaruh kadar cuka apel dan konsentrasi garam NaCl terhadap masa pakai baterai

Arus listrik dapat mengalir karena terdapat zink (Zn) yang bertindak sebagai katoda (kutub positif) dan tembaga (Cu) yang bertindak sebagai anoda (kutub negatif). Reaksi ionisasi terjadi jika zink dan tembaga bersentuhan dengan pasta kulit pisang, sehingga terbentuk arus listrik. Apabila kedua elektroda dihubungkan dengan lampu, maka akan terdapat arus listrik yang mengalir dari anoda ke katoda, sehingga lampu dapat menyala [21]. Penambahan campuran asam cuka memengaruhi waktu ketahanan batu baterai daur ulang. Semakin asam kandungannya, maka ketahanan batu baterai akan lebih lama [7]. Hal ini sesuai dengan hasil yang diperoleh pada penelitian ini, biobaterai dengan penambahan kadar cuka apel yang lebih besar memiliki masa pakai baterai yang lebih lama.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kulit pisang kepok dapat dimanfaatkan menjadi biobaterai ramah lingkungan dengan tegangan, arus, dan masa pakai baterai yang dipengaruhi oleh kadar cuka apel dan penambahan NaCl. Semakin tinggi kadar cuka apel dan konsentrasi NaCl yang digunakan, maka tegangan dan arus akan semakin tinggi serta masa pakai baterai akan semakin lama. Biobaterai terbaik dihasilkan pada lama fermentasi 24 jam dengan kadar asam asetat 90%. Tegangan, kuat arus, hambatan, daya, dan masa pakai baterai yang dihasilkan berturut-turut adalah 1,38 V; 0,95 A; 1.452,6 Ω ; 0,0001311 W; dan 92,5 jam. Tegangan berbanding lurus dengan arus, sehingga semakin tinggi tegangan yang dihasilkan, maka arus akan semakin tinggi. Tegangan dan arus yang dihasilkan pada biobaterai dari kulit pisang kepok belum memenuhi standar baterai konvensional, namun hasilnya lebih baik jika dibandingkan dengan biobaterai dari kulit pisang jenis lain. Meskipun besar tegangan dan arus yang dihasilkan tidak sebaik baterai konvensional, biobaterai dari kulit pisang kepok cukup efisien untuk penggunaan sehari-hari dan memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut.

5. Konflik Kepentingan

Semua penulis tidak memiliki konflik kepentingan (*conflict of interest*) pada publikasi artikel ini.

Daftar Pustaka

- [1] U. Z. Siddiqui and A. K. Pathrikar, "The future of energy bio battery," *Int. J. Res. Eng. Technol.*, vol. 02, no. 11, pp. 99–111, 2013.
- [2] Z. Zurohaina, I. Febriana, and A. Zikri, "Pengaruh konsentrasi ragi tape terhadap voltase dan lamanya penyalan lampu yang dihasilkan limbah kulit pisang sebagai alternatif sumber energi listrik" Laporan Penelitian, Palembang, 2017.
- [3] S. Fadilah, R. Rahmawati, and M. Pkim, "Pembuatan biomaterial dari limbah kulit pisang (*Musa paradisiaca*)," in *Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains 2015 (SNIPS 2015)*, 2015, vol. 2015, pp. 45–48.
- [4] M. R. Harahap, "Sel elektrokimia: karakteristik dan aplikasi," *CIRCUIT J. Ilm. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, 2016.
- [5] D. M. Srinivasa, P. R. Chandini, S. Harshitha, J. Jayasurya, and K. Lakshmana, "Fabrication of bio-battery for home automation," *Int. J. Innov. Res. Electr. Electron. Instrum. Control Eng.*, vol. 8, no. 7, pp. 12–16, 2020.
- [6] M. Muhlisin, N. Soedjarwanto, and M. Komarudin, "Pemanfaatan sampah kulit pisang dan kulit durian sebagai bahan alternatif pengganti pasta batu baterai," *J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 9, no. 3, pp. 137–147, 2015.
- [7] W. Purwati and T. Harjono, "Analisis pemanfaatan limbah kulit pisang sebagai energi alternatif pada baterai," *EKSERGI J. Tek. Energi*, vol. 13, no. 2, pp. 61–67, 2017.
- [8] H. F. Hassan, U. F. Hassan, O. A. Usher, A. B. Ibrahim, and N. N. Tabe, "Exploring the potentials of banana (*Musa sapientum*) peels in feed formulation," *Int. J. Adv. Res. Chem. Sci.*, vol. 5, no. 5, pp. 10–14, 2018.
- [9] N. Pulungan, M. A. Febria, I. Desma, R. D. Ayuningsih, and Y. Nila, "Pembuatan bio baterai berbahan dasar kulit pisang," *Hasanuddin Student J.*, vol. 1, no. 2, pp. 96–101, 2017.
- [10] R. Arizona, S. Kurniadi, Y. Fernando, and Indarto, "Direction flow (DC) electric energy production through utilization of banana leather and papaya leather waste to be an environmentally friendly biobattery," *J. Renew. Energy Mech.*, vol. 04, no. 01, pp. 32–46, 2021.
- [11] A. Ristiono, "Analisis pemanfaatan limbah kulit pisang sebagai komponen baterai ramah lingkungan," *Mekanika*, vol. 2, no. 2, pp. 47–53, 2021.
- [12] F. Hunaini and M. Dapa, "Use of ambon banana peel solution as a 12 volt accumulator charging electrolyte," *JASEE J. Appl. Sci. Electr. Eng.*, vol. 3, no. 02, pp. 38–45, 2022.

- [13] A. Nurannisa, A. M. I. T. Asfar, A. M. I. A. Asfar, and S. S. Dewi, “Diseminasi ibu PKK Dusun Kallimpo dalam mengolah limbah kulit pisang menjadi bio-baterai energi masa depan,” *J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 01, no. 03, pp. 389–398, 2021.
- [14] L. Zikriana and A. Hamid, “Perbandingan tegangan yang diberi larutan garam dengan massa yang berbeda untuk menggerakkan kipas angin sederhana,” in *Prosiding Seminar Nasional MIPA III*, 2017, pp. 459–463.
- [15] W. D. Jauharah, “Analisis kelistrikan yang dihasilkan limbah buah dan sayuran sebagai energi alternatif bio-baterai”, Skripsi, Universitas Jember, 2013.
- [16] T. B. Reddy, *Linden’s Handbook of Batteries*, 4th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2011.
- [17] T. Hikmatun, “Eksperimen penggunaan filler tepung kulit pisang dalam pembuatan nugget tempe,” *Food Sci. Culin. Educ.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, 2014.
- [18] H. Kholida and P. Pujayanto, “Hubungan kuat arus listrik dengan keasaman buah jeruk dan mangga,” in *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika (SNFPF) Ke-6 2015*, 2015, vol. 6, no. 1, pp. 42–46.
- [19] F. Andinata, F. Destyorini, E. Sugiarti, Munasir, and K. A. Zaini T, “Pengaruh pH larutan elektrolit terhadap tebal lapisan elektroplating nikel pada baja ST 37,” *J. Penelit. Fis. dan Apl.*, vol. 2, no. 2, pp. 48–52, 2020.
- [20] Y. N. Hendri, Gusnedi, and Ratnawulan, “Pengaruh jenis kulit pisang dan variasi waktu fermentasi terhadap kelistrikan dari sel accu dengan menggunakan larutan kulit pisang,” *Pillar Phys.*, vol. 6, pp. 97–104, 2015.
- [21] C. N. Anggreani, “Kulit pisang sebagai bio-baterai ramah lingkungan (biodegradable),” *INArxiv*, pp. 1–8, 2019.