

IDENTIFIKASI SIFAT KELISTRIKAN BIO BATERAI BERBAHAN DASAR LIMBAH AMPAS KOPI ROBUSTA (COFFEA CANEPHORA) DAN KULIT PISANG KEPOK (MUSA PARADISIACA L.)

Muhammad Arief Bestari¹, Ayong Hiendro², Ismail Yusuf³

d1021211061@student.untan.ac.id¹, ayong.hiendro@ee.untan.ac.id²,

ismail.yusuf@ee.untan.ac.id³

Universitas Tanjungpura

ABSTRAK

Produksi baterai dengan kualitas tinggi oleh banyak perusahaan memberikan resiko penumpukan limbah baterai yang tidak ramah lingkungan karena mengandung senyawa logam berat. Inovasi baru diperlukan untuk menangani permasalahan ini dengan mensubstitusi pasta elektrolit baterai dengan bahan yang lebih ramah lingkungan. Coffea canephora dan Musa paradisiaca L. memiliki potensi elektrolit yang dapat dimanfaatkan untuk pembuatan pasta elektrolit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi sifat kelistrikan dengan memvariasikan konsentrasi terhadap pasta elektrolit. Pengujian pasta elektrolit menggunakan fermentasi alami dan asam cuka sebagai pembanding, didapatkan tegangan optimum sebesar 1.95V, arus sebesar 1.48mA, dan daya sebesar 2.89mW untuk pasta dengan fermentasi asam cuka dan tegangan optimum 0.84V, arus 3.32mA, dan daya 2.79mW untuk fermentasi alami. Hasil optimum ini didapatkan dari perbandingan material 25% Musa paradisiaca L. 75% Coffea canephora dengan total 10gr pasta. Analisis dengan menggunakan Uji Anova SPSS (Statistical Package for The Social Science) diperlukan untuk melihat pengaruh dari berbagai variabel. Pengujian SPSS menghasilkan nilai sig. <0.05 , sifat kelistrikan dipengaruhi oleh lamanya waktu fermentasi dan tingkat keasaman (pH). Semakin asam pasta maka nilai kelistrikan akan semakin turun, pH terbaik untuk menghasilkan sifat kelistrikan berkisar 3-4.

Kata Kunci: Pisang Kepok (Musa Paradisiaca L.), Kopi Robusta (Coffea Canephora), Bio Baterai, Sifat Kelistrikan, Uji Anova, Regresi Linear.

ABSTRACT

The production of high quality batteries by many companies poses a risk of accumulating battery waste that is not environmentally friendly because it contains heavy metal compounds. New innovations are needed to deal with this problem by substituting battery electrolyte paste with more environmentally friendly materials. Coffea canephora and Musa paradisiaca L. have electrolyte potential that can be utilized for making electrolyte paste. This study aims to determine the potential electrical properties by varying the concentration of electrolyte paste. Testing the electrolyte paste using natural fermentation and vinegar acid as a comparison, obtained an optimum voltage of 1.95V, current of 1.48mA, and power of 2.89mW for pasta with vinegar acid fermentation and an optimum voltage of 0.84V, current of 3.32mA, and power of 2.79mW for natural fermentation. These optimum results were obtained from a material ratio of 25% Musa paradisiaca L. 75% Coffea canephora with a total of 10gr of paste. Analysis using the SPSS (Statistical Package for the Social Science) Anova Test is needed to see the effect of various variables. The test resulted in sig. <0.05 , electrical properties are influenced by the length of fermentation time and acidity level (pH). The more acidic the paste, the lower the electrical value, the best pH to produce electrical properties is around 3-4.

Keywords: *Musa Paradisiaca L., Coffea Canephora, Bio Battery, Electrical Properties, Anova Test, Linear Regression.*

PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk mendorong bertambahnya penggunaan energi fosil dan penggunaan baterai, hal ini berdampak pada inovasi baterai berkualitas tinggi yang

diproduksi oleh banyak perusahaan [1]. Maraknya produksi baterai dapat menimbulkan risiko baru yang membahayakan lingkungan ketika tidak dikelola baik sehabis masa pakainya karena mengandung banyak logam berat seperti merkuri, timbal, kadmium, dan nikel[2]. Limbah baterai yang dibuang sembarangan dapat mengganggu sistem syaraf pusat, ginjal, sistem reproduksi, hingga kanker [3]. Perlunya penanggulangan untuk menyelesaikan masalah tersebut dengan mensubstitusi penggunaan bahan elektrolit yang lebih ramah lingkungan seperti penggunaan limbah Coffea canephora dan Musa paradisiaca L. yang memiliki kandungan elektrolit ramah lingkungan [4].

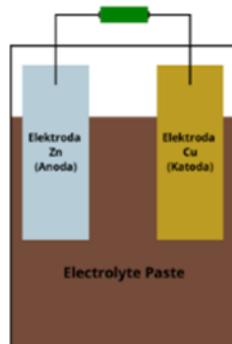
Kebiasaan konsumsi Kopi Robusta dan Pisang Kepok Goreng Srikaya warga Pontianak memberikan tren baru yaitu menjamurnya warung kopi di Pontianak, hal tersebut menyebabkan banyaknya limbah ampas kopi dan kulit pisang yang dihasilkan. Limbah kopi dan kulit pisang akan menumpuk jika tidak dikelolah dengan baik, akibatnya dapat mencemari lingkungan dengan menghasilkan bau tidak sedap serta banyak mengandung senyawa yang dapat menimbulkan toksisitas bagi lingkungan. Limbah kopi dan kulit pisang ini dapat dimanfaatkan untuk menyimpan energi atau digunakan untuk dijadikan baterai litium ion [5], produksi biofuel [6], dan memiliki senyawa kimia seperti kafein, asam kafein, dan asam klorogenik yang berpotensi sebagai elektrolit baterai [7].

Potensi elektrifikasi limbah dapat dilakukan dengan mengkonversi limbah tersebut menjadi pasta bio baterai (elektrifikasi). Kamilah, dkk [8] melakukan penelitian pembuatan bio baterai dari buah kedondong dan kulit pisang ambon dengan melakukan variasi material atau bahan dasarnya (0% : 100%, 25% : 75 %, 50% : 50%, 75% : 25%, dan 100% : 0%) dan didapatkan hasil optimum pada konsentrasi (0% : 100%) dengan tegangan 3,90 V dan arus 1,05 mA selama 12 jam fermentasi. Pawarangan dan Jefriyanti [9] memanfaatkan ampas kopi untuk dijadikan pasta elektrolit dengan mengidentifikasi nilai arus yang dihasilkan, sifat kelistrikan optimum pada pasta tersebut maksimum $1,11 \pm 0,9$ V dan daya 0,38mW. Putra dan Hanif [10] mengolah kulit pisang raja sebagai energi bio baterai dengan variasi luas penampang elektroda, nilai tegangan yang muncul sebesar 11,77 hingga 12,06 volt dan daya yang diperoleh dari hasil perhitungan sebesar 0,017 W. Prawira dan Komang [11] mengkombinasikan asam klorida (HCL) dengan ampas kopi untuk dijadikan elektrolit dan variasi suhu pengeringan 200°C,300°C,400°C selama 1 jam dengan hasil rata-rata sebesar 0,792 V dan 2,487mA untuk suhu 300°C dan HCL sebanyak 30%. Mahzum, dkk [12] memanfaatkan jenis kopi luwak arabika, arabika original, luwak robusta, dan robusta original dengan ph 5; 5,15; 5,36; 5,6 dan menghasilkan tegangan listrik 1,35V; 1,27V; 1,11V; dan 0,994V. Penelitian ini berfokus pada pembuatan pasta elektrolit bio baterai dengan menggunakan variasi perbandingan dan mengidentifikasi sifat kelistrikan yang dihasilkan dengan mengukur output berupa tegangan, arus, dan daya listrik pada pasta elektrolit bio baterai.

METODOLOGI

Preparasi terdiri atas persiapan dan pengumpulan alat serta bahan. Alat yang digunakan meliputi gunting, cutter, gelas plastik, multimeter digital, sendok plastik, pipet ukur, timbangan gram, dan ulekan batu. Bahan yang digunakan meliputi limbah ampas kopi robusta *Coffea canephora*, limbah kulit pisang kepok *Musa paradisiaca* L., kepingan elektroda Zn dan Cu, cuka masak, dan aquades. Preparasi dimulai dengan membersihkan limbah dengan ducuci dengan aquades dan dikeringkan [13]. Limbah yang sudah dicuci dan dikeringkan selanjutnya dilakukan penghalusan dengan menggunakan ulekan batu dan ditimbang dengan disesuaikan berat total sampel 10gr dengan variasi konsentrasi material 0% : 100%, 25% : 75 %, 50% : 50%, 75% : 25%, dan 100% : 0% [14].

Limbah yang sudah dipreparasi selanjutnya dipersiapkan untuk diidentifikasi sifat kelistrikkannya. Limbah yang telah menjadi pasta dimasukan ke dalam wadah plastik untuk diberikan elektroda Cu (katoda) dan Zn (Anoda). Selanjutnya dilakukan pengukuran dengan menggunakan pH meter untuk mendapatkan tingkat keasaman dan menggunakan multimeter digital untuk mendapatkan tegangan dan arus pada pasta elektrolit [9] untuk mendapatkan daya pada pasta dilakukan dengan melakukan operasi perkalian antara tegangan dan arus yang didapatkan.



Gambar 1. Susunan Pasta Elektrolit Bio Baterai

Identifikasi sifat kelistrikan ini dilakukan selama 7 hari dengan fermentasi menggunakan cuka 30 ml dan pembanding tanpa cuka (fermentasi alami), data yang sudah didapatkan kemudian dicatat pada form uji coba. Sifat kelistrikan pada produk penelitian dianalisis dengan data uji yang telah didapatkan dan diolah datanya pada Matlab kemudian diolah dalam bentuk grafik dan dianalisis bagaimana pengaruh dari berbagai variasi yang diolah dalam penelitian [9]. Analisis data juga menggunakan bantuan software SPSS (Statistical Package for The Social Science) guna mempermudah menilai hubungan antara konsentrasi material, lama waktu pengukuran, dan output pengukuran.

Variabel dalam penelitian ini terbagi atas (1) variabel bebas, berupa limbah ampas kopi robusta dan kulit pisang kepok (2) variabel terikat, meliputi nilai ukuran tegangan, arus, dan daya listrik dari produk pasta elektrolit, (3) variabel kontrol, meliputi lamanya hari fermentasi bahan dan tambahan cuka masak sebagai nilai pembanding penelitian. Data yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari hasil pengukuran (1) tingkat keasaman (2) nilai tegangan keluaran (3) nilai arus keluaran dan (4) nilai daya keluaran.

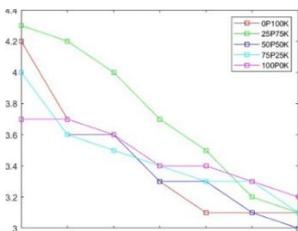
Analisis hasil dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi sifat kelistrikan yang dihasilkan dari produk pasta elektrolit berbahan dasar limbah ampas kopi robusta dan kulit pisang kepok dengan keberhasilan produk penelitian berupa elektrolit yang berbentuk pasta, adanya nilai tegangan (V), arus (mA), dan daya listrik (mW) dari produk penelitian, dan didapatkan grafik serta analisis terkait keberhasilan untuk mengidentifikasi sifat kelistrikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

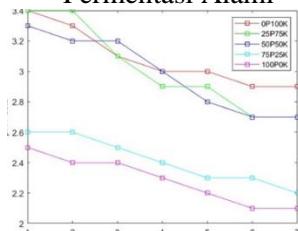
Limbah dapat menghasilkan zat elektrolit karena mengandung material glukosa dan pati yang dapat terhidrolisis ketika difermentasi [15].



Glukosa dan pati yang tercampur dengan cairan asam atau air dapat terfermentasi dan berubah menjadi zat etanol yang kemudian mengalami hidrolisis dan terionisasi menjadi elektrolit berupa asam asetat atau etanoat.



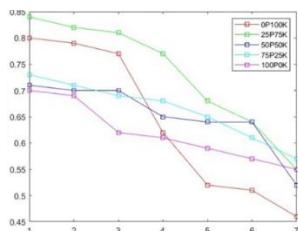
Fermentasi Alami



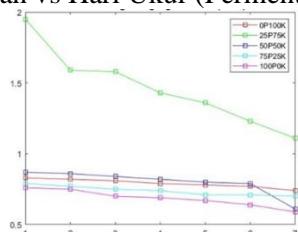
Fermentasi Cuka

Gambar 2. Perbandingan pH Bio Baterai vs Hari Ukur

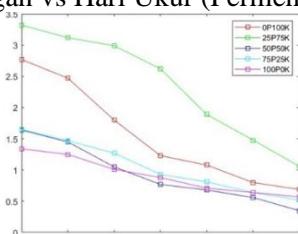
Semakin lama waktu fermentasi maka tingkat asam pada baterai akan semakin tinggi. Fermentasi akan menghasilkan zat elektrolit yang dapat menghasilkan energi listrik [16]. Baterai yang memiliki zat elektrolit ketika diberikan penambahan elektroda dan rangkaian listrik akan terjadi proses reduksi dan oksidasi elektroda [17]. Reaksi redoks memberikan beda ketidakseimbangan muatan yang mengakibatkan adanya pengumpulan pada sisi konduktor yang menyebabkan terjadi proses beda potensial antar kedua elektroda dan menghasilkan gaya listrik [18].



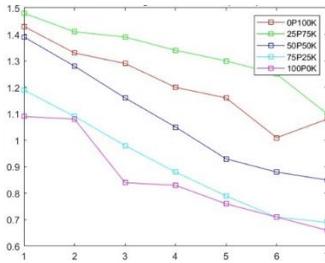
Tegangan vs Hari Ukur (Fermentasi Alami)



Tegangan vs Hari Ukur (Fermentasi Cuka)

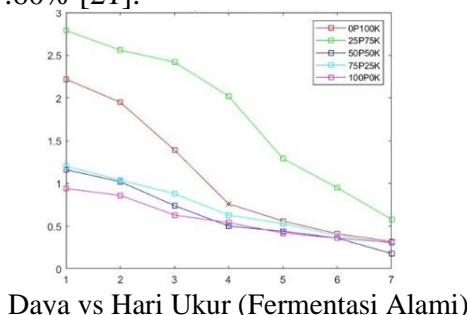


Arus vs Hari Ukur (Fermentasi Alami)

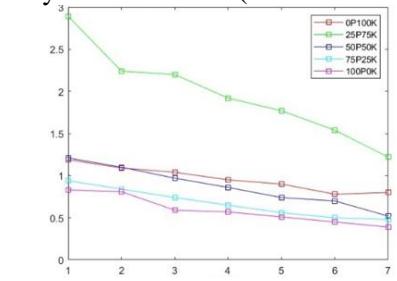


Arus vs Hari Ukur (Fermentasi Cuka)
Gambar 3. Perbandingan Sifat Kelistrikan

Beda potensial terjadi pada elektroda akibat proses redoks, sel baterai mampu menghasilkan listrik (arus dan tegangan). Gambar 3 memperlihatkan grafik yang tidak stabil pada fermentasi alami, sedangkan fermentasi dengan cuka memberikan grafik yang lebih stabil dan konstan. Temuan tersebut memberikan indikasi bahwa asam cuka dapat menstabilkan zat elektrolit dan mempercepat proses fermentasi [18], [19]. Arus listrik berbanding lurus terhadap tegangan [20], terlihat pada temuan material dengan perbandingan 25% pisang dan 75% kopi menghasilkan nilai kelistrikan paling optimum. Hari pertama pengukuran pH sebesar 3.4 (fermentasi cuka) dan 4.3 (fermentasi alami), temuan tersebut sejalan dengan penelitian yang sebelumnya pernah dilakukan yaitu nilai kelistrikan akan sangat baik ketika zat elektrolit memberikan pH 3-4 karena memiliki kadar etanol sebesar 6.81% dan 7.60% [21].



Daya vs Hari Ukur (Fermentasi Alami)



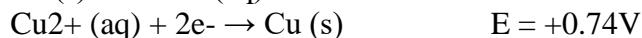
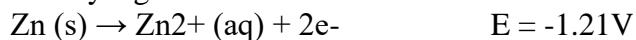
Daya vs Hari Ukur (Fermentasi Cuka)
Gambar 4. Perbandingan Daya Baterai

Dengan melakukan perkalian antara tegangan dan arus yang dihasilkan bio baterai, maka akan ditemukan nilai daya bio baterai. Nilai daya ini berbanding lurus dengan nilai arus yang dihasilkan. Daya listrik yang dihasilkan juga mengalami penurunan seiring dengan waktu pengukuran. Temuan sifat kelistrikan yang terus turun ini dapat diakibatkan oleh beberapa faktor yang terlihat pada saat pengukuran berlangsung. Proses redoks yang menimbulkan beda potensial antar dua elektroda lama kelamaan akan memberikan residu dan menempel pada elektroda. Residu yang menempel ini akan menebal dan mengakibatkan sifat kelistrikan berkurang seiring dengan bertambahnya waktu fermentasi pada bio baterai [22].

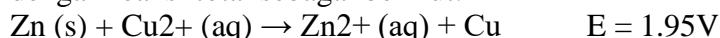


Gambar 5. Penebalan Elektroda

Penebalan elektroda akan lebih sering terjadi pada elektroda Cu karena massa pada Cu akan bertambah oleh massa Zn. Pada anoda, logam Zn melepaskan elektron dan menjadi Zn^{2+} yang larutan.



Masa logam Zn setelah reaksi akan berkurang dan masa logam Cu akan bertambah, dengan reaksi total sebagai berikut:



Penebalan pada dinding elektroda ini memberikan pengaruh penurunan sifat kelistrikan selama proses fermentasi selama tujuh hari [52], [53]. Logam Zn akan mengalami peristiwa korosi dan berkarat karena logam Zn akan mudah melepaskan elektron dan semakin mudah beroksidasi [25].



Gambar 6. Mikroorganisme

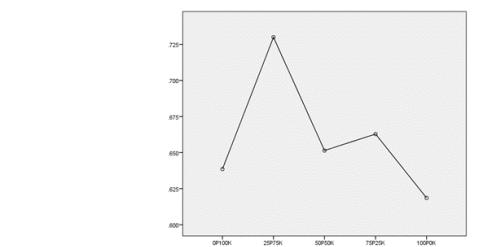
Mikroorganisme berkembang pada bio baterai dan memadat pada pasta elektrolit. Perkembangan mikroorganisme ini memberikan pengaruh buruk karena akan menghambat proses kelistrikan yang berlangsung pada bio baterai [20]. Elektroda yang menguap, tidak sempurnanya reaksi elektrokimia karena elektroda yang tidak tercelup sempurna, dan sambungan probe yang longgar atau kotor dapat menjadi faktor yang menghambat sifat kelistrikan bio baterai [26].

Analisis lanjutan menggunakan software SPSS (Statistic Package for the Social Science) membantu untuk melihat bagaimana signifikansi terhadap percobaan. Hasil yang ditemukan bahwa konsentrasi optimum bio baterai terdapat pada 25% pisang dan 75% kopi.

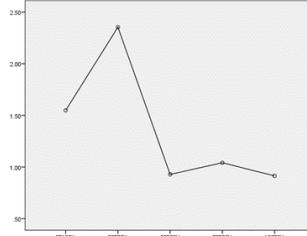
ANOVA ^a					
Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	48.605	6	8.101	10.602
	Residual	21.395	28	.764	
	Total	70.000	34		
2	Regression	64.367	8	8.046	37.139
	Residual	5.633	26	.217	
	Total	70.000	34		

Gambar 7. Uji Anova Material vs Nilai Uji

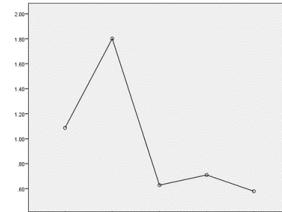
Nilai uji Anova didapatkan signifikansi <0.5 pada variabel bebas (material) dan terikat (hasil uji), yang memberikan indikasi bahwa variabel terikat berpengaruh terhadap variabel bebas. Adapun konsentrasi optimum pada 25% pisang dan 75% kopi, terlihat pada visualisasi grafik berikut:



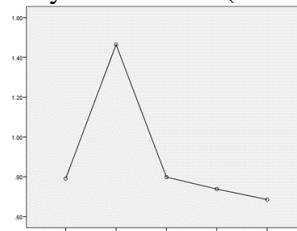
Signifikansi Tegangan vs Material (Fermentasi Alami)



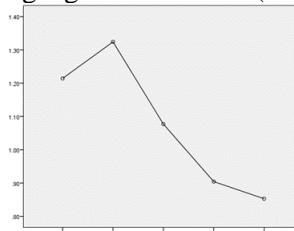
Signifikansi Arus vs Material (Fermentasi Alami)



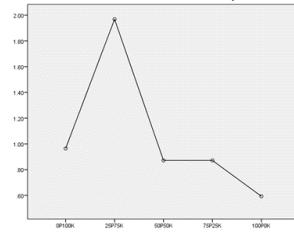
Signifikansi Daya vs Material (Fermentasi Alami)



Signifikansi Tegangan vs Material (Fermentasi Cuka)



Signifikansi Arus vs Material (Fermentasi Cuka)



Signifikansi Daya vs Material (Fermentasi Cuka)

Gambar 8. Grafik Signifikansi Anova Material vs Nilai Ukur

Gambar 8 memberikan temuan bahwa grafik signifikansi pengaruh material terhadap nilai uji ditemukan bahwa konsentrasi paling optimum pada 25% pisang dan 75% kopi. Analisis Anova menggunakan SPSS juga dilakukan pada pengaruh pH terhadap sifat kelistrikan bio baterai. Adapun hasil anova pada tabel berikut:

ANOVA ^a					
Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	4.328	3	1.443	41.478	.000 ^b
Residual	1.078	31	.035		
Total	5.406	34			

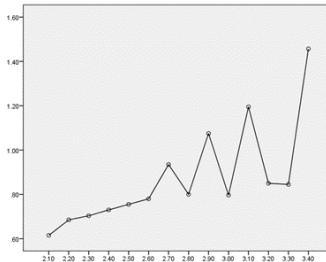
Uji Anova pH Fermentasi Cuka

ANOVA ^a					
Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	3.449	3	1.150	45.036	.000 ^b
Residual	.791	31	.026		
Total	4.240	34			

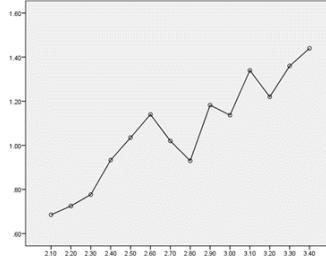
Uji Anova pH Fermentasi Alami

Gambar 9. Uji Anova pH vs Hasil Ukur

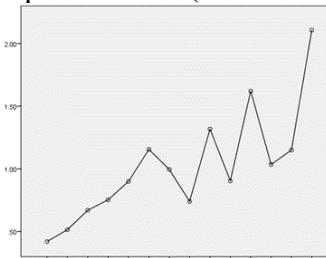
Nilai signifikansi didapatkan <0.05 , memberikan temuan bahwa pH mempengaruhi hasil kelistrikan pada bio baterai.



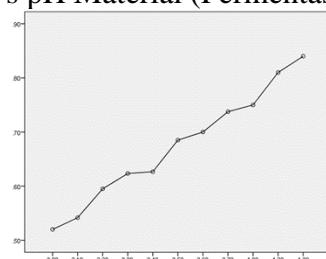
Tegangan vs pH Material (Fermentasi Cuka)



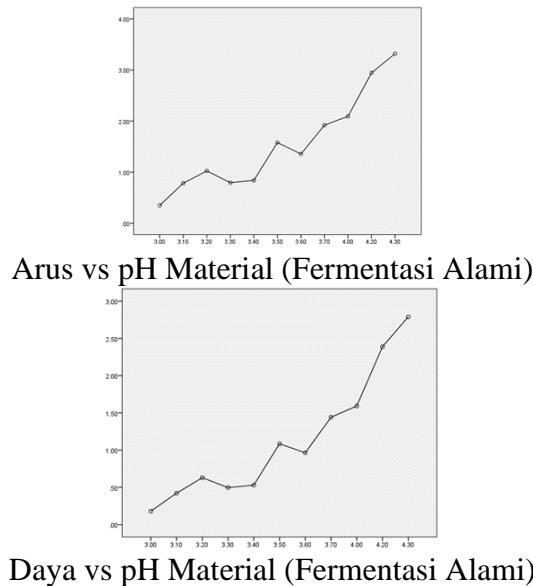
Arus vs pH Material (Fermentasi Cuka)



Daya vs pH Material (Fermentasi Cuka)



Tegangan vs pH Material (Fermentasi Alami)



Gambar 10. Grafik Signifikansi pH Material vs Nilai Uji

Gambar 10 menunjukkan grafik signifikansi bahwa nilai pH dapat mempengaruhi sifat kelistrikan, terlihat bahwa semakin tinggi nilai pH maka akan baik sifat kelistrikan yang dihasilkan bio baterai.

KESIMPULAN

Limbah ampas kopi robusta dan kulit pisang kepok dapat dimanfaatkan sebagai substitusi bahan penyusun baterai yang lebih ramah lingkungan. Baterai dari limbah divariasikan materialnya dengan perbandingan kulit pisang kepok dan ampas kopi robusta berturut-turut 0%:100%; 25%:75%; 50%:50%, 75%:25%, 100%:0% dapat menghasilkan sifat kelistrikan yang potensional dengan output tegangan (V), arus (mA), dan daya listrik (mW) ketika diberikan perlakuan fermentasi secara alami dan menggunakan asam cuka kemudian ditambahkan dengan elektroda Cu dan Zn. Fermentasi akan menimbulkan reaksi redoks pada elektroda Cu dan Zn sehingga mengalami beda potensial antara kedua elektroda dan dapat mengkonversikan senyawa kimia menjadi energi listrik. Baterai dari limbah ampas kopi robusta dan kulit pisang kepok dapat menghasilkan sifat kelistrikan yang optimal pada konsentrasi material 25% limbah kulit pisang dan 50% limbah ampas kopi robusta. Tegangan yang dihasilkan dapat mencapai nilai maksimum sebesar 1.95V dengan fermentasi cuka dan 0.84V fermentasi alami, arus yang dihasilkan dapat mencapai nilai maksimum sebesar 1.48mA dengan fermentasi cuka dan 3.32mA fermentasi alami, daya listrik maksimum yang dihasilkan sebesar 2.89mW dengan fermentasi cuka dan 2.79mW fermentasi alami. Pengujian anova dalam regresi linear menggunakan bantuan software IBM SPSS (Statistical Package for The Social Sciences) mendapatkan hasil signifikansi kurang dari 0.05 (sig.<0.05) pada pengujian variabel terikat dan variabel bebas. Pengujian ini berarti bahwa semua variabel bebas yang diujikan berpengaruh terhadap hasil variabel terikat, misalnya pada pengujian lamanya hari fermentasi dengan pH yang dihasilkan dan pengujian pH dengan sifat kelistrikan yang dihasilkan baterai.

DAFTAR PUSTAKA

A. Kopi, "Identifikasi Sifat Kelistrikan Bio-baterai Berbahan Dasar," *Buletin Fisika* Vol, vol. 23, no. 2, pp. 92–96, 2022.

Aryaraditya Prawira and Komang Yudith, "Pemanfaatan Limbah Bubuk Kopi dengan Asam Klorida (HCl) sebagai Elektrolit untuk Aplikasi Bio-Baterai-Submit Jurnal/Konfensi," *REPOSITORY Institut Teknologi Kalimantan*, Jul. 2022.

C. N. Anggreani, "Kulit pisang sebagai bio-baterai ramah lingkungan (biodegradable)," *Pendidikan Kimia*, 2019.

D. Hermayantiningsih, "Studi Penggunaan Beda Potensial Pada Elektrodepositi Ion Tembaga (II)," *Bohr: Jurnal Cendekia Kimia*, vol. 1, no. 02, pp. 81–86, 2023.

E. Mahzum, N. Aufa, and S. Prayogi, "Analisis Tingkat Keasaman Ampas Kopi Sebagai Katalis Alternatif Sumber Energi Bio Baterai," *Natural: Jurnal Ilmiah Pendidikan IPA*, vol. 9, no. 2, 2022.

F. Muhamar, "Potensi Kopi Arabika (*Coffea Arabica L.*) Dari Berbagai Aktivitas Farmakologi & Bentuk Sediaan Farmasi: Review: Potential Arabica Coffee (*Coffea Arabica L.*) From Various Pharmacological Activities & Pharmaceutical Preparation Forms," *Medical Sains: Jurnal Ilmiah Kefarmasian*, vol. 7, no. 3, pp. 395–406, 2022.

F. R. K. SUSANTO, "ANALISIS PENGARUH VARIASI pH AIR LAUT PADA SEL VOLTA DUA KOMPARTEMEN DENGAN ELEKTRODA Cu (Ag)-Zn (Skripsi) Oleh FRANSISKUS RAYNALDI KURNIA SUSANTO," 2021.

H. Kamilah, T. W. DS, and S. Maftukhah, "Pemanfaatan buah kedondong dan kulit pisang ambon sebagai sumber energi listrik alternatif," *Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik*, vol. 1, no. 2, pp. 142–151, 2020.

H. Kamilah, T. W. DS, and S. Maftukhah, "Pemanfaatan buah kedondong dan kulit pisang ambon sebagai sumber energi listrik alternatif," *Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik*, vol. 1, no. 2, pp. 142–151, 2020.

H. Kamilah, T. W. DS, and S. Maftukhah, "Pemanfaatan buah kedondong dan kulit pisang ambon sebagai sumber energi listrik alternatif," *Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik*, vol. 1, no. 2, pp. 142–151, 2020.

H. P. PUTRA, "Kelistrikan Pada Fermentasi Pasta Kulit Buah Pisang Raja Sebagai Alternatif Energi Bio-Baterai," *Repository Universitas Negeri Jember*, 2022.

H. Rahman, S. Sefaniyah, and A. Indri, "Pemanfaatan limbah kulit pisang sebagai Bahan Baku pembuatan Bioetanol," *J Teknol*, vol. 6, no. 1, pp. 1–10, 2018.

I. Pawarangan and W. Jefriyanto, "Identification of Electrical Properties of Bio-battery based on Spent Coffee Grounds," *Bul. Fis. Vol 23 No 2 Bul. Fis*, 2021.

L. Utami, L. Lazulva, and Y. Fatisa, "Produksi energi listrik dari limbah kulit pisang (*Musa paradisiaca L.*) menggunakan teknologi microbial fuel cells dengan permanganat sebagai katolit," *al Kimiya: Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*, vol. 5, no. 2, pp. 62–67, 2018.

M. Nasution, "Kajian tentang hubungan deret volta dan korosi serta penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik UISU (SEMNASTEK)*, 2019, pp. 252–255.

M. Sarah, E. R. Zelfi, M. P. Kuswara, and I. M. Hasibuan, "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*, vol. 13, no. 1, pp. 32–39, 2024.

R. D. Maharani, "Pengolahan Air Buangan Limbah Menjadi Energi Listrik Dengan Microbial Fuel Cell (Mfc)," 2019.

R. Hindersah and E. Suminar, "Kendala dan Metode Budidaya Pisang di Beberapa Kebun Petani Jawa Barat," *Agrologia*, vol. 8, no. 2, p. 370887, 2019.

R. Masriantini, "Pembuatan Karbon Aktif Dari Kulit Pisang," *Jurnal Redoks*, vol. 16(1), pp. 1–10, 2017.

R. T. Salawali and S. A. Lestari, "Utilization of Biomass Waste from Banana (*Musa Paradisiaca*) and Breadfruit (*Artocarpus Communis*) Peel for Development of Bio-Batteries," *Jurnal Sains dan Teknik Terapan*, vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2024.

R. T. Salawali and S. A. Lestari, "Utilization of Biomass Waste from Banana (*Musa Paradisiaca*) and Breadfruit (*Artocarpus Communis*) Peel for Development of Bio-Batteries," *Jurnal Sains dan Teknik Terapan*, vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2024.

T. jaya Saputra, U. M. Fadli, and A. Basith, "ANALISIS KONDUKTIVITAS LISTRIK PADA KITOSAN DARI LIMBAH RAJUNGAN DI PACIRAN SEBAGAI BAHAN ELEKTROLIT PADA BIO-BATERAI," *JURNAL REKAYASA ENERGI*, vol. 2, no. 1, pp. 19–25, 2023.

T. Sutanto, "Analisis Karakteristik Elektrik Limbah Kulit Singkong Berbentuk Pasta Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Terbarukan," 2018.

W. Lee et al., "Caffeine as an energy storage material for next-generation lithium batteries," *Energy Storage Mater*, vol. 56, pp. 13–24, 2023.

W. P. Widyaningsih and T. H. Mulud, "Analisis Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Sebagai Energi Alternatif Pada Batterai," *Eksergi: Jurnal Teknik Energi*, vol. 13, no. 2, 2017.

Z. Arifin et al., *GREEN TECHNOLOGY: Penerapan Teknologi Ramah Lingkungan Berbagai Bidang*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2023.