

Peningkatan Kinerja Biobaterai Kulit Nanas dengan Optimasi Elektroda Cu-Zn Menggunakan Perendaman Larutan AgNO_3 dan Penambahan *Sacrificial Anode* Mg

Siti Hardiyanti*, Neneng Fitrya, Shabri Putra Wirman, Romi Fadli Syahputra, Adila Pramudiah Prastiwi

Jurusan Fisika, FMIPA dan Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Riau, dan Pekanbaru, Riau, Indonesia

Email korespondensi : nenengfitrya@umri.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.20527/flux.v22i1.20505>

Submitted: 20 September 2024; Accepted: 15 Januari 2025

ABSTRAK- Nanas (*Ananas comosus* (L.) adalah komoditas utama di Provinsi Riau, dan limbah dari kulit nanas mencapai jumlah sebesar 612 ton per tahun. Limbah ini memiliki potensi besar sebagai biomassa, terutama dalam pengembangan biobaterai. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis pengaruh penambahan lapisan perak (Ag) pada tembaga (Cu) dan magnesium (Mg) pada seng (Zn) terhadap laju korosi, tegangan, arus, daya dan intensitas cahaya dari biobaterai limbah kulit nanas. Pengukuran laju korosi dilakukan dengan metode kehilangan massa elektroda Cu dan Zn sebelum dan sesudah menggunakan selama 720 jam. Proses penelitian meliputi pembuatan dan pengujian biobaterai dari kulit nanas, pembuatan elektrolit, pembuatan prototipe biobaterai, serta uji karakteristik listrik dan laju korosi elektroda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perendaman Cu dengan Ag berhasil mengurangi laju korosi Cu sebesar 71,47%, sedangkan penambahan Mg pada Zn sebagai anoda tumbal mengurangi laju korosi Zn sebesar 81,30%. Pengujian karakteristik listrik pada biobaterai menunjukkan bahwa elektroda Cu(Ag)-Zn(Mg) menghasilkan tegangan, arus, daya, dan intensitas yang besar. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan Ag dan Mg memproduksi tenaga listrik yang lebih tinggi dan mengurangi tingkat korosi dibandingkan dengan elektroda yang tidak dilapisi Ag atau yang tidak menggunakan Mg. Penelitian ini berkontribusi signifikan terhadap pengembangan biobaterai yang lebih tahan lama dan ramah lingkungan dengan memanfaatkan limbah kulit nanas dan perendaman elektroda.

KATA KUNCI: *Biobaterai, Elektroda, Korosi, Kelistrikan Limbah Kulit Nanas.*

ABSTRACT- Pineapple (*Ananas comosus* (L.) is a major commodity in Riau Province, and waste from pineapple peels amounts to 612 tons per year. This waste has great potential as biomass, especially in the development of biobatteries. The purpose of this study was to analyze the effect of adding silver (Ag) coating on copper (Cu) and magnesium (Mg) on zinc (Zn) on the corrosion rate, voltage, current, power and light intensity of pineapple peel waste biobattery. Measurement of corrosion rate was done by mass loss method of Cu and Zn electrodes before and after using for 720 hours. The research process includes making and testing biobatteries from pineapple peels, making electrolytes, making prototype biobatteries, and testing the electrical characteristics and corrosion rate of the electrodes. The results showed that immersion of Cu with Ag successfully reduced the corrosion rate of Cu by 71.47%, while the addition of Mg to Zn as a sacrificial anode reduced the corrosion rate of Zn by 81.30%. Electrical characteristics testing on the biobattery showed that the Cu(Ag)-Zn(Mg) electrode produced high voltage, current, power, and intensity. This indicates that the addition of Ag and Mg produces higher electrical power and reduces the corrosion rate compared to electrodes that are not coated with Ag or that do not use Mg. This research contributes significantly to the development of more durable and environmentally friendly biobatteries by utilizing pineapple peel waste and immersion electrodes.

KEYWORDS : Biobattery, Electrode, Corrosion, Electricity Pineapple Peel Waste.

PENDAHULUAN

Nanas (*Ananas comosus* (L.) menjadi komoditas terbesar di Provinsi Riau dan Riau termasuk dalam lima provinsi terbesar penghasil nanas di Indonesia. Saat ini, kebun nanas yang produktif mencakup sekitar 6.000 hektar dengan produksi hampir 7 ton nanas segar per hari selama musim panen. Menurut Berdasarkan data Badan Pusat Statistik tahun 2021, produksi nanas di Riau mencapai lebih dari 300 ribu ton setiap tahunnya (BPS 2021). Hasil panen nanas tersebut selanjutnya dijual atau diolah menjadi berbagai produk lain, seperti keripik nanas, wajik nanas, dodol nanas, dan sirup nanas. Pemanfaatan nanas ini hanya pada daging buahnya saja, sehingga peningkatan jumlah produksi nanas sejalan dengan meningkatnya timbulan limbah kulit nanas tersebut. Berdasarkan hasil panen tahunan, limbah kulit nanas dapat mencapai 612 ton setiap tahun (Shidiq et al. 2022). Limbah kulit nanas yang dibuang dan tidak dimanfaatkan mencapai sekitar 50-60 kg per hari. (Arizona et al. 2021). Menurut Menteri ESDM, limbah organik hasil pertanian, termasuk kulit nanas, memiliki potensi besar sebagai sumber energi biomassa. Indonesia memiliki sumber energi biomassa yang besar, yang penting sebagai energi alternatif ramah lingkungan, termasuk dalam pengembangan biobaterai. (ESDM 2023).

Biobaterai memanfaatkan bahan organik atau biomassa sebagai sumber energi, yang sesuai dengan prinsip energi terbarukan karena bahan-bahan tersebut dapat diperbaharui secara alami dan tidak menghasilkan emisi bersih saat digunakan. Bahan organik atau biomassa yang digunakan dalam biobaterai berasal dari sumber alam seperti buah-buahan dan sayuran. Keasaman pada buah-buahan dapat memberikan sifat kelistrikan, terutama pada buah-buahan yang mengandung asam mineral seperti asam sitrat (HNO_3) dan asam klorida. Asam-asam ini berfungsi sebagai elektrolit kuat yang terurai sepenuhnya menjadi ion dalam larutan air. (Salafa, Hayat, and Ma 2020). Salah satu buah-buahan yang berpotensi sebagai biobaterai

menggunakan kulit nanas telah diteliti, dan hasilnya menunjukkan bahwa kulit nanas murni mampu menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 2,410 volt dan arus maksimum sebesar 0,12 mA (Susanto et al. 2017). Biobaterai dapat menghasilkan energi listrik melalui transfer elektron antara dua media konduktif, yaitu anoda dan katoda, yang terdiri dari dua pelat elektroda. Proses ini menghasilkan tegangan, arus, dan daya listrik (Pohan 2021).

Elektroda merupakan komponen penting dalam pengembangan biobaterai. Elektroda terdiri dari anoda, yang berfungsi sebagai kutub negatif, dan katoda, yang berfungsi sebagai kutub positif (Siregar 2017). Beberapa jenis logam yang dapat dijadikan katoda dan anoda pada biobaterai diantaranya yaitu tembaga (Cu), seng (Zn), aluminium (Al) dan besi (Fe). Berbagai penelitian telah dilakukan untuk menganalisis pengaruh elektroda terhadap sifat kelistrikan biobaterai diantaranya (Fitrya et al. 2023) menggunakan elektroda Cu dan Zn, (Sundari & Setiawan 2023) kombinasi elektroda (Cu-Zn), (Zn-Al), (Cu-Al), (Siregar 2017) menggunakan empat pasangan elektroda yaitu Cu-Zn, Cu-Al, Cu-Fe, dan Cu-Sn.

Biobaterai dengan elektroda yang digunakan dalam penelitian sebelumnya memiliki kekurangan, yaitu mudah mengalami korosi. Salah satu jenis korosi yang mempengaruhi ketahanan elektroda tersebut adalah korosi galvanik. Korosi galvanik terjadi ketika dua elektroda dengan perbedaan potensial ketika keduanya dicelupkan ke dalam larutan korosif (Faqih 2017). Tembaga merupakan konduktor yang efektif untuk panas dan listrik, tetapi mudah terkorosi (Pauzi & Wicaksana 2020). Seng (Zn) adalah logam putih yang larut perlahan dalam asam dan alkali murni, namun proses korosinya dapat dipercepat akibat terpapar zat pencemar atau bersentuhan dengan platinum atau tembaga (Anggraini et al. 2019). Aluminium (Al) mempunyai massa jenis $2,7 \text{ kg/cm}^3$, daya hantar sebesar $35 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ dan tidak korosi (A. G. Pauzi and Wicaksana 2020). Besi (Fe)

memiliki sifat rentan terhadap korosi jika tidak dilindungi dengan lapisan pelindung (Anggraini et al. 2019). Korosi pada elektroda ini menyebabkan penurunan masa pakai biobaterai, bila terjadi korosi tanpa lapisan pelindung pada penelitian sebelumnya tentang analisis karakteristik elektrik onggok singkong fermentasi yang diawetkan sebagai pasta biobaterai menguji nilai laju korosi terhadap elektroda Cu-Zn yang difermentasikan selama 144 jam nilai laju korosi sebesar 0,0042 mm/tahun data tersebut menunjukkan bahwa waktu fermentasi memengaruhi laju korosi dimana semakin lama waktu fermentasi, maka laju korosi yang dihasilkan semakin besar (Erviana et al. 2020).

Berdasarkan uraian di atas maka dilakukan penelitian untuk meningkatkan kinerja biobaterai dari kulit nenas dengan mengoptimalkan fungsi elektroda, sehingga meningkatkan konduktivitas listrik dan masa pakai biobaterai tersebut. Tujuan penelitian ini adalah mengurangi tingkat korosi pada elektroda biobaterai dengan menggunakan elektroda Cu-Zn dengan perendaman elektroda Cu dalam larutan AgNO_3 , serta penambahan *sacrificial anode* Mg pada Zn dengan tambahan sekat berpori antara Zn dan Mg. Sifat Ag murni memiliki daya hantar listrik dan panas yang tinggi, serta tahan terhadap korosi (Nisa et al. 2019). Sifat Mg dapat mempertinggi daya listrik dan memperkecil laju korosi pada Zn (Suciati, Pauzi, and Kamalia 2020). Metode *sacrificial anode* adalah teknik pencegahan korosi dilakukan dengan menghubungkan logam yang akan dilindungi dengan logam lain yang memiliki potensial standar reduksi lebih rendah (Pangestu, Pauzi, and Suciati 2018). Perlindungan menggunakan *sacrificial anode* memiliki beberapa keuntungan, seperti kesederhanaan, stabilitas, dan biaya perawatan yang lebih rendah. Metode ini dapat mengurangi laju korosi dan menghasilkan karakteristik listrik yang lebih baik (Senobua 2022).

Pengembangan biobaterai dari limbah kulit nenas memiliki potensi untuk menjadi solusi yang inovatif dan berkelanjutan dalam menyediakan energi listrik. Selain itu juga

mengatasi masalah limbah pertanian dan mendukung pembangunan ekonomi yang berkelanjutan di daerah penghasil nenas seperti Riau.

METODE PENELITIAN

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi chopper, ayakan, multimeter digital tipe HELES UX37, lightmeter tipe LX-103, cawan petri, pisau, hot plate dan magnetic stirrer, gelas ukur, jepit buaya, lampu LED 3 V dan gunting seng. kabel serabut tembaga (Cu), larutan perak nitrat (AgNO_3) 0,1 M, lempengan seng (Zn), dan lempengan magnesium (Mg), aquades, larutan HNO_3 1% (Merck 100456), alkohol 70% (Merck Onemed), lem korea dan lem PVC, kertas saring, amplas, limbah kulit nenas dari penjual pinggir di jalan raya pekanbaru, *polivinil alcohol* (PVA), *glyserol*, HCl 1 M (Merck for analysis).

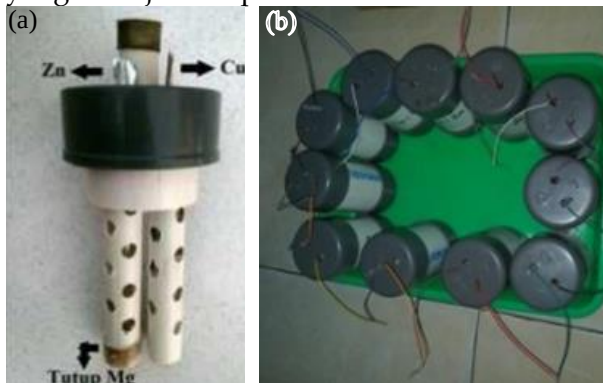
Pembuatan Elektrolit

Pembuatan elektrolit padat terbuat dari ampas kulit nenas, HCL, PVA dan gliserol. Prosedur riset yaitu memanaskan HCL sebanyak 20 mL diatas hotplate selama 10 menit, menambahkan 2 g PVA sambil di aduk dengan magnetic stirrer selama 3 menit dengan kecepatan 40 rpm. Selanjutnya ditambahkan ampas kulit nenas sebanyak 10 g, lalu ditambahkan 5 g gliserol untuk membentuk pasta selama 2 jam. Pasta dituangkan ke dalam cawan petri dan dimasukkan ke dalam oven pada suhu 105°C selama 2 jam.

Pembuatan Prototipe Biobaterai

Pembuatan prototipe dilakukan dengan menggunakan wadah tertutup untuk mencegah masuknya udara. Wadah yang digunakan adalah Pipa paralon berbentuk silinder dengan tinggi nya 10 cm, diameter 2 inci didalamnya terdapat 2 elektroda wadah yang digunakan pipa paralon dengan diameter $\frac{1}{2}$ inci dan tingginya 10 cm diberi lubang agar perpindahan ion dari bagian sel biobaterai dapat berlangsung dan elektrolit digunakan sebanyak 100 g ditimbang menggunakan alat timbangan analitik. Wadah dibuat dengan 11 sel dengan sistem tertutup yang saling

terhubung menggunakan kabel jumper, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Desain sel biobaterai, (a) terbuka dan (b) tertutup

Perendaman Elektroda Katoda

Elektroda yang digunakan terdiri dari sepasang elektroda, yaitu Cu sebagai katoda dan Zn sebagai anoda. Katoda dari serabut Cu kabel listrik serabut. Pemanfaatan elektroda serabut adalah untuk memperluas luas permukaan elektroda yang bersentuhan dengan larutan elektrolit. Selain itu bahwa elektroda serabut Cu lebih mudah untuk diperoleh dibandingkan dengan elektroda berbentuk plat Cu. Cu dengan panjang 2 meter per helai, sebanyak 25 helai dibersihkan menggunakan larutan HNO_3 1%. Serabut Cu direndam selama 5 menit kedalam larutan perak nitrat AgNO_3 0,02 M yang telah diencerkan dengan aquades sebanyak 250 mL. Kemudian setelah serabut Cu direndam dengan Ag, dililitkan pada penyangga dengan diameter 0,5 cm dan panjang 10 cm, seperti yang terlihat pada Gambar 2.

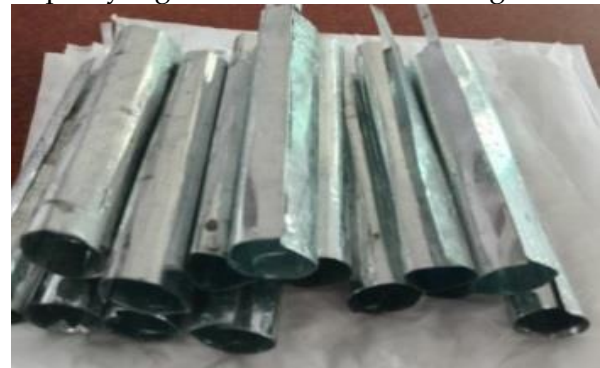


Gambar 2 (a) Serabut Cu setelah direndam, (b) Serabut Cu dililitkan pada penyangga

Sarificial Anoda

Anoda yang digunakan berupa lempengan Zn murni berukuran $3,5 \times 10$ cm.

Sebelum digunakan, Zn dibersihkan menggunakan alkohol 70% dan selanjutnya dibilas dengan aquades (Gambar 3). Tahap selanjutnya persiapan lempengan Mg dengan dimensi panjang 2 cm dan lebar 1 cm sebagai *sacrificial anode* untuk melindungi Zn dari serangan korosi. Lemspengan Zn didekat kan dengan lempengan Mg dan dipisah oleh sekat berpori yang terbuat dari kertas saring.



Gambar 3 Lempeng Zn Setelah di Bersihkan



Gambar 4 Lempeng Mg Berukuran 2 cm x 1 cm

Perhitungan Laju Korosi

Perhitungan laju korosi merupakan metode untuk memprediksi kecepatan korosi pada material, yang memungkinkan estimasi kapan korosi akan mulai terjadi. Salah satu teknik untuk mengukur laju korosi adalah melalui metode kehilangan massa. Metode ini melibatkan pengukuran pengurangan massa setelah elektroda yang terkorosi digosok menggunakan amplas tipe P-100. Proses ini memerlukan periode penelitian tertentu untuk memperoleh jumlah kehilangan massa akibat korosi yang terjadi. (Meng et al. 2019). Untuk menghitung jumlah kehilangan berat akibat korosi dengan Pers. (1) (Malaret 2022):

$$R = \frac{K \times m}{\rho \times A \times T} \quad (1)$$

Dengan R adalah laju korosi (mmpy), K sebagai kosntanta ($8,76 \times 10^4$ mm/tahun), m

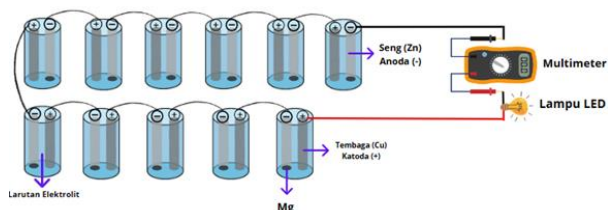
sebagai perubahan massa dari massa awal ke massa akhir (g), ρ sebagai massa jenis sampel (g/cm^3), A sebagai luas permukaan yang terpapar (cm^2), dan T sebagai waktu (jam). Besar persentase nilai laju korosi dalam kehilangan massa didapatkan Pers. (2) dan Pers (3)., dengan LKA sebagai laju korosi tanpa penambahan bahan, LKB sebagai laju korosi dengan penambahan bahan, dan n sebagai jumlah sel.

$$\text{Persentase laju korosi} = \frac{\text{LKA} - \text{LKB}}{\text{LKA}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\frac{\text{Total persentase laju korosi}}{\sum \text{persentase laju korosi}} = \quad (3)$$

Uji Karakteristik Kelistrikan Biobaterai

Pengujian karakteristik listrik dilakukan dengan variasi elektroda Cu tanpa Ag dan Cu dengan Ag, serta Zn tanpa Mg dan Zn dengan Mg. Wadah terdiri dari 11 sel, di mana setiap sel menyusun sepasang logam Cu sebagai katoda dan Zn sebagai anoda. Pengukuran tegangan dan arus dilakukan menggunakan multimeter analog. Biobaterai yang terdiri dari 11 sel dihubungkan dengan kabel jumper, dengan Cu sebagai katoda dan Zn sebagai anoda, disusun secara seri untuk mengukur tegangan dan arus dengan alat multimeter digital tipe HELES UX37. Setelah semua komponen terhubung, probe positif multimeter dipasang pada jumper Cu dan probe negatif pada jumper Zn, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Pengukuran Kelistrikan Biobaterai

Data karakteristik listrik yang diukur adalah tegangan saat beban dilepas (V_{bl}) yaitu saat saklar terbuka, tegangan saat beban terpasang (V_b), arus, dan intensitas cahaya. Kemudian dihitung pula hambatan dalam (R_{in}) dengan Pers. (4), dengan R_{in} adalah hambatan dalam (kohm), V_{bl} adalah tegangan tanpa beban (V), V_b adalah tegangan dengan beban (V) dan I adalah arus (mA).

$$R_{in} = \frac{V_{bl} - V_b}{I} \quad (4)$$

Perhitungan Daya

Perhitungan daya dapat dilakukan dengan Pers. (5), dengan P adalah daya (mW), V adalah tegangan (V) dan I adalah arus (mA).

$$P = V \times I \quad (5)$$

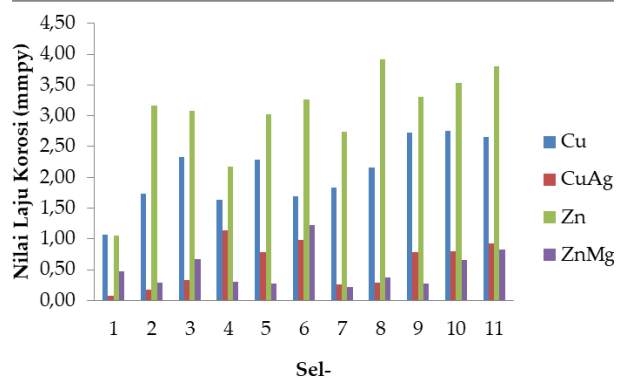
Pengukuran Intensitas Cahaya

Pengukuran intensitas cahaya dilakukan selama 3 hari setelah diberikan beban lampu LED 3 W. Jarak pengukur intensitas cahaya dari lampu LED 3 W ke alat lightmeter tipe LX-103 adalah 5 cm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Laju Korosi

Perhitungan laju korosi dilakukan berdasarkan massa selisih elektroda Cu, Cu(Ag), Zn dan Zn(Mg), dimana massa sebelum dicelupkan ke elektrolit dan massa sesudah dicelupkan ke elektrolit penggunaan selama 720 jam. Perhitungan didasarkan pada Pers. (1) dengan massa jenis tembaga Cu sebesar $8,96 \text{ g/cm}^3$, memiliki tinggi 10 cm, jari-jari 0,4 cm serta diameternya 0,8 cm sehingga didapatkan luas permukaan silinder sebesar 25 cm^2 . dan logam Zn sebesar $7,14 \text{ g/cm}^3$ dan luas permukaan terkena korosi elektroda Zn sebesar 14 cm^2 . Untuk percobaan tanpa lapisan Ag dan Mg serta lapisan Ag dan Mg, setelah didapatkan nilai laju korosi dibuat dalam bentuk Pers. (2). dapat diamati pada Gambar 6.



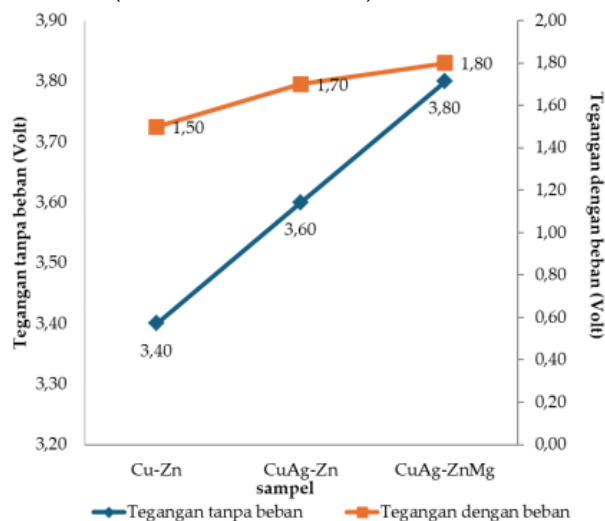
Gambar 6 Grafik Nilai Laju Korosi

Pada Gambar 6 penambahan Ag pada Cu mengurangi laju korosi rata-rata sebesar 71,47%, sementara penambahan Mg pada Zn mengurangi laju korosi rata-rata sebesar

81,30%. Penurunan laju korosi juga berdampak pada peningkatan keluaran energi listrik. (Kamalia, Pauzi, & Suciati 2018).

Pengukuran Tegangan

Hasil pengukuran nilai tegangan tanpa beban dan tegangan dengan beban ini dapat dilihat pada Gambar 7 menunjukkan hasil dari pengujian tegangan tanpa beban sampel Cu-Zn dengan penambahan Ag dan Mg meningkat drastis sebesar 5,88% dan 11,76%, sedangkan nilai tegangan dengan beban yang terbaik pada sampel elektroda CuAg-ZnMg mengalami peningkatan sebesar 20%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa nilai tegangan tanpa beban dan tegangan dengan beban yang dihasilkan oleh elektroda CuAg-ZnMg di bandingkan dengan elektroda Cu-Zn dan CuAg-Zn. Keadaain ini dikarenakan berdasarkan nilai potensial pada deret volta, pasangan Cu(Ag)-Zn(Mg) memiliki beda potensial standar sel sebesar +3,17 V, sedangkan tanpa Mg memiliki nilai beda potensial sebesar +1,56 V. Nilai beda potensial pada deret volta yang semakin besar menghasilkan tegangan yang besar pula. (G. A. Pauzi et al. 2020). Penelitian terkait juga menunjukkan bahwa elektroda penambahan lapisan Mg pada Zn mempunyai nilai konduktivitas listrik yang lebih tinggi sebesar 25,57 V (kamalia et al., 2018).

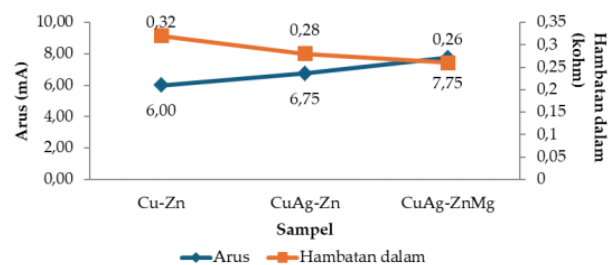


Gambar 7 Grafik Pengukuran Tegangan

Pengukuran Arus dan Hambatan Dalam

Hasil pengukuran arus dan hambatan dalam biobaterai dari limbah kulit nanas setiap variasi elektroda Cu-Zn, CuAg-Zn dan

CuAg-ZnMg dapat dilihat pada Gambar 8 menunjukkan hasil dari pengukuran arus pada sample elektroda Cu-Zn sebesar 6 mA sedangkan CuAg-ZnMg meningkat sebesar 7,75 mA. Sementara itu hambatan dalam mengalami penurunan dengan penambahan Ag dan Mg sebesar 0,26 kohm. Peningkatan ini menunjukkan bahwa penambahan Ag dan Mg secara signifikan meningkatkan konduktivitas listrik elektroda dengan mengurangi hambatan dalam dan meningkatkan aliran arus. Lapisan pelindung yang dibentuk Ag membantu mengurangi laju korosi, sementara Mg meningkatkan konduktivitas, mengoptimalkan kedua aspek tersebut. Berdasarkan hukum Ohm, penurunan hambatan sejalan dengan peningkatan arus dan tegangan, menjadikan elektroda Cu(Ag)-Zn(Mg) lebih efisien dibandingkan Cu-Zn dan Cu(Ag)-Zn (Zhang et al. 2024).



Gambar 8 Grafik Pengukuran Arus dan Hambatan Dalam

Pengujian Nilai Daya

Perhitungan daya pada biobaterai di lakukan dengan menggunakan Pers. (4), dapat dilihat pada Tabel 1. Pengujian daya dengan variasi elektroda Cu-Zn menghasilkan daya 9 mW, dengan penambahan Ag dan Mg menghasilkan daya maksimum sebesar 13,95 mW. Penambahan Ag pada paduan elektroda meningkatkan ketahanan korosi, membuat elektroda lebih stabil dan efisien dalam menghasilkan daya. Sementara itu, Mg bertindak sebagai anoda yang melindungi elektroda dari korosi dan meningkatkan ketahanan terhadap lingkungan korosif. Dengan ketahanan korosi yang lebih baik, elektroda dapat mempertahankan tegangan dan arus yang lebih stabil, sehingga menghasilkan daya yang lebih tinggi (Sampaio, Fernandes, and Martins 2022).

Tabel 1 Nilai Daya Listrik Biobaterai

Sampel	Daya (mW)
Cu-Zn	9,00
CuAg-Zn	11,48
CuAg-ZnMg	13,95

Pengukuran Intensitas Cahaya

Tabel 2 Menunjukkan nilai hasil pengukuran intensitas cahaya dari biobaterai. Hasil pengujian intensitas cahaya elektrolit biobaterai ampas kulit nanas ini menghasilkan intensitas cahaya terbesar pada elektroda Cu(Ag)-Zn(Mg) yaitu 6 lux. Hal tersebut menunjukkan bahwa intensitas cahaya yang dihasilkan elektroda Cu(Ag)-Zn(Mg) lebih besar dari pada tanpa Ag dan Mg. Keadaan tersebut disebabkan karena nilai intensitas cahaya yang dihasilkan berbanding lurus dengan arus. Semakin besar nilai arus maka nilai intensitas cahaya yang dihasilkan juga semakin besar, sejalan dengan penelitian (G. A. Pauzi et al. 2020).

Tabel 2 Nilai Intensitas Cahaya Biobaterai

Nama Sample	Intensitas Cahaya (lux)
Cu-Zn	3
CuAg-Zn	5
CuAg-ZnMg	6

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan Ag pada elektroda Cu dan Mg pada elektroda Zn secara signifikan mengurangi laju korosi, dengan Cu(Ag) mencapai laju korosi terendah 71,47 % dan Zn(Mg) menurun hingga 81,30% dibandingkan Zn murni. Elektroda Cu(Ag)-Zn(Mg) lebih baik dalam kinerja biobaterai, menghasilkan tegangan 3,80 V, arus yang lebih tinggi 7,75 mA, dan daya maksimum 13,95 mW. Ketahanan korosi yang lebih baik pada elektroda ini meningkatkan efisiensi dan kestabilan, serta menghasilkan intensitas cahaya tertinggi sebesar 6 lux.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih semua pihak yang telah berkontribusi pada penelitian ini, terutama kepada Universitas Muhammadiyah Riau dan Kemenristek Dikti yang telah memberikan dukungan serta dana untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, Ika Novia, Wisnu Sri Nugroho, Reza Satria Rinaldi, & Afriyastuti Herawati. (2019). Analisis Pengaruh Tegangan Terhadap Karakteristik Kerja Sel Electrolyzer dengan Variasi Bahan Elektroda. *Jurnal Amplifier: Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Elektro dan Komputer*. 9(1), 9–15.
<https://doi.org/10.33369/jamplifier.v9i1.15395>.
- Arizona, Rafil, Shandy Kurniadi, Yoga Fernando, & Indarto. (2021). Direction Flow (DC) Electric Energy Production Throught Utilization Of Banana Leather And Papaya Leather Waste To Be an Environmentally Friendly Biobattery. *Journal Renewable Energy & Mechanics*. 4(01), 32–46. [https://doi.org/10.25299/rem.2021.vol4\(01\).6006](https://doi.org/10.25299/rem.2021.vol4(01).6006).
- BPS. (2021). Badan Statistik Pusat Konsumsi Listrik per Kapita (MWH/Kapita) Pada Tahun 2020. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTE1NiMy/konsumsi-listrik-per-kapita.html>.
- Erviana, Yuli Amir Supriyanto, Sri Wahyu Suciwati, & Ahmad Fauzi. (2020). Analisis Karakteristik Elektrik Onggok Singkong Fermentasi Yang Diawetkan Sebagai Pasta Bio-Baterai. *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*. 1(01), 27–32.
<https://doi.org/10.23960/jemit.v1i1.10>.
- ESDM. (2023). Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2023/10/06/3619/potensi.biomassa.menjanjikan.indonesia.prediksi.hasilkan.listrik.setara.5697.gw>.
- Faqih, Amrizal. 2017. *Perbedaan Laju Korosi Paduan Tembaga Pada Media Korosif Yang Berbeda*. Skripsi. Universitas Bariwijaya.
- Fitrya, Neneng et al. (2023). Peningkatan Kinerja Bio-Batterai Nanas Dengan Penambahan Pasta Aki Bekas Dan Natrium Benzoat Performance Improvement Of Pineapple Bio-Battery With The Addition Of Used Battery Pasta And Sodium Benzoat. *Jurnal Positron*

- Berkala Ilmiah*. 13(02), 125–32. <https://dx.doi.org/10.26418/positron.v13i2.70052>.
- Kamalia, Latifah, Gurum Ahmad Pauzi, & Wahyu Suciya. (2018). Analisis Laju Korosi Elektrode Bahan Cu - Zn Dengan Metode Sacrificial Anode Pada Sistem Energi Listrik Alternatif Berbasis Air Laut. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. 06(02), 249–256. <https://doi.org/10.23960/jtaf.v6i2.1850>.
- Malaret, Francisco. 2022. Exact Calculation of Corrosion Rates by the Weight-Loss Method. *Experimental Result*. 1–12
- Meng, Yao et al. (2019). Bioactive Materials Initial Formation of Corrosion Products on Pure Zinc in S aline Solution. *Bioactive Materials* 4(August 2018), 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2018.08.003>.
- Nisa, Mia Abi. (2019). *Analisis Laju Korosi dan Karakteristik Listrik Elektroda Serabut Cu(Ag)Zn dengan Metode Sacrificial Anode Mg*. Skripsi. Universitas Lampung.
- Pangestu, Sinta Setiani, Gurum Ahmad Pauzi, & Sri Wahyu Suciya. 2018. Analisis Laju Korosi Pada Sistem Energi Listrik Alternatif Berbasis Elektrolit Air Laut. *Teori dan Aplikasi Fisika*. 06(01), 11–20.
- Pauzi, Ahmad Gurum, & Bela Wicaksana. (2020). Analisis Pemanfaatan Joule Thief Tipe Toroida Pada Sel Volta Menggunakan Elektroda (Cu (Ag) – Zn) Berbahan Elektrolit. *Jurnal Fisika Indonesia*. 19(1), 21-25. <https://doi.org/10.22146/jfi.v24i1.51858>.
- Pauzi, Gurum Ahmad, Mia Abi Nisa, Ahmad Saudi Samosir, & Sri Ratna. 2020. Peningkatan Karakteristik Listrik Sel Elektrokimia Cu (Ag) -Zn Dengan Penggunaan Anoda Tumbal Mg Pada Accumulator Berbahan Air Laut. *Jurnal Teori dan Aplikasi*. 8(1), 83–92.
- Pohan, Rahmasari. 2021. “Pembuatan Biobaterai Berbahan Kulit Nenas (Ananas Comosus) Dengan Memvariasikan Elektroda.” Skripsi. Universitas Islam Negeri Sumatra Utara
- Salafa, Fahmi, Latiful Hayat, & Anwar Ma. (2020). *Analisis Kulit Buah Jeruk (Citrus Sinensis) Sebagai Bahan Pembuatan*. Skripsi. Universitas Muhammadiyah Purwokerto.
- Sampaio, Rui F V, C S Fernandes, and Paulo A F Martins. 2022. In Fl Uence of Corrosion on the Electrical and Mechanical Performance of Hybrid Busbars. *International Journal Of Lightweigt Materials and Manufacture*. 5(4), 510-519. <https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2022.06.005>.
- Senobua, Andre. 2022. *Analisis Peletakan Dan Kebutuhan Sistem Proteksi Katodik Dengan Menggunakan Sacrificial Anode Pada Jacket MDA Di Selat Madura*. Skripsi . Universitas Hasanuddin.
- Shidiq, Akmal Arshad, Parningotan Siregar, Vira Avriya, & Denny Astrie. 2022. Pemanfaatan Limbah Kulit Nanas Sebagai Bahan Pembuatan Paper Soap Untuk Meningkatkan Perekonomian Masyarakat Desa Kualu Nenas. *Jurnal Pengabdian untuk Mu Negri*. 6(2), 117–22. <http://doi.org/10.37859/jpumri.v6i2.4-55>.
- Siregar, Shinta Marito. 2017. Pengaruh Penambahan Elektroda Terhadap Kelistrikan Belimbing Wuluh (Averrhoa Bilimbi) Sebagai Solusi. *Jurnal Penelitian Pendidikan MIPA (JP2MIPA)*. 2(1), 45-50.
- Suciya, S W, G A Pauzi, & Junaidi L Kamalia. 2020. Proteksi Katodik Pada Elektrode Zn Metode Sacrificial Anode Untuk Peningkatan Kinerja Sistem Akumulator Air Laut. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. 08(02), 127–34.
- Sundari, Leni, & Andi Arif Setiawan. 2023. Pemanfaatan Limbah Stockpile Batubara Sebagai Media Elektrolit Untuk Menghasilkan Tegangan Listrik Dengan Kombinasi Elektroda. *Jurnal Redoks* 8(2), 1–8. <https://doi.org/10.31851/redoks.v8i2.9054>.
- Susanto, Adi, Mulyono Sumitro Baskoro, Sugeng Hari Wisudo, & Mochammad Riyanto. 2017. Performance of Zn-Cu and Al-Cu Electrodes in Seawater Battery at Different Distance and Surface Area.

*Jurnal International Penelitian Energi
Terbarukan-IJRER.* 7(10), 32-38.
<https://doi.org/10.20508/ijrer.v7i1.5506.g70>
18.

Zhang, Yasi et al. 2024. Influence of Cooling

Rate on the Corrosion Behavior of Al –
Zn – In – Mg – Ag Sacrificial Anode.
*Journal of Materials Research and
Technology* 30, 1207–16.
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.03.163>.