

ANALISIS KOROSI ELEKTRODA ALUMINIUM DAN TEMBAGA SERTA PENGARUHNYA TERHADAP KINERJA BIO-BATERAI

Nanda Tri Yuliani¹⁾, Didiek Hari Nugroho^{2)*}, dan Cindi Ramayanti³⁾

^{1,2,3}Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya

*E-mail: dh.nugroho@polsri.ac.id

Abstract

This study investigates the corrosion behavior of aluminum (Al) and copper (Cu) electrodes and its effect on the performance of a bio-battery utilizing pineapple peel extract with sodium carbonate (Na_2CO_3) as the electrolyte. The research aims to determine how variations in electrolyte concentration (0,1 – 0,5 M) and extract volume (50 – 250 ml) influence electrical performance and electrode degradation. Corrosion analysis is essential, as electrode stability significantly affects the efficiency, durability, and reliability of bio-batteries. Excessive anode corrosion can reduce active surface area and increase internal resistance, while copper electrodes may experience deposition that alters electrochemical behavior. Experiments were conducted over two weeks, measuring voltage, current, power, and electrode mass changes. Faraday's law was applied to calculate charge transfer, degradation rate, and estimated electrode lifespan. Results indicated the highest power output of 339,95 mW occurred at 0,5 M Na_2CO_3 with 50 ml extract. However, increasing electrolyte concentration and operating time accelerated aluminum corrosion from 0,0054 to 0,0091 mg/cm²/day, while copper electrodes exhibited mass gain due to deposition. These findings highlight that higher electrolyte concentrations improve bio-battery performance but compromise electrode stability. Therefore, optimizing electrolyte composition while maintaining electrode durability is crucial for the development of sustainable and efficient bio-battery technology.

Keywords: *bio-battery, aluminum corrosion, copper electrode, sodium carbonate, pineapple peel extract*

PENDAHULUAN

Permasalahan energi global saat ini mendorong pengembangan teknologi energi alternatif yang ramah lingkungan, efisien, dan memanfaatkan bahan baku terbarukan, salah satunya bio-baterai. Bio-baterai merupakan sel galvanik berbasis bahan organik yang bekerja melalui reaksi redoks antara elektroda dan senyawa aktif dalam substrat biologis, seperti limbah buah, yang menghasilkan listrik. Kulit nanas sebagai limbah pertanian diketahui memiliki kandungan senyawa organik seperti asam askorbat, asam sitrat, dan enzim bromelain, yang berpotensi berperan dalam proses elektrokimia baik sebagai donor elektron maupun agen redoks alami (Sitanggang dkk., 2021a).

Dalam sistem bio-baterai, performa listrik sangat dipengaruhi oleh jenis dan kondisi elektroda, serta karakteristik elektrolit yang digunakan. Aluminium (Al) dan Tembaga (Cu) sering digunakan sebagai elektroda karena kemudahan konduktivitas, reaktivitas elektrokimia, dan ketersediaannya yang melimpah. Namun, salah satu tantangan utama dalam sistem bio-baterai adalah korosi elektroda, terutama pada lingkungan basa yang

diinduksi oleh elektrolit seperti natrium karbonat (Na_2CO_3). Korosi ini memengaruhi umur pakai, efisiensi, dan stabilitas kinerja bio-baterai.

Aluminium bersifat amfoter, mudah membentuk lapisan oksida pasif Al_2O_3 dalam lingkungan netral, namun rentan mengalami degradasi di lingkungan alkali karena larutan hidroksida dan karbonat dapat melarutkan lapisan pasif tersebut, mempercepat korosi (Fabris dkk., 2024a). Penelitian oleh Kamarska (2022), menyatakan bahwa aluminium mengalami korosi progresif di lingkungan ionik basa, ditandai dengan kenaikan laju degradasi dari waktu ke waktu, terutama pada minggu-minggu awal paparan. Hal serupa juga ditemukan oleh Li dkk. (2023a), yang mencatat laju korosi aluminium dalam media netral hingga basa berkisar $0,05 \text{ mg/cm}^2/\text{hari}$, yang dapat meningkat seiring eksposur dan reaksi elektrokimia.

Di sisi lain, elektroda tembaga cenderung membentuk lapisan pasif Cu_2O dan CuO/Cu(OH)_2 dalam lingkungan basa. Lapisan ini dapat mempertebal endapan di permukaan elektroda namun tidak selalu berkontribusi pada korosi larut yang signifikan (Noël dkk., 2023a).

Selain karakteristik material elektroda, performa bio-baterai juga dipengaruhi oleh variasi volume substrat organik dan konsentrasi elektrolit. Semakin tinggi konsentrasi ionik dalam larutan, umumnya meningkatkan konduktivitas dan mempercepat reaksi elektrokimia, tetapi dapat memicu degradasi lebih cepat pada elektroda (Sukri dkk., 2021). Hal ini menunjukkan adanya hubungan langsung antara korosi elektroda dengan kinerja bio-baterai, baik dari sisi tegangan, arus, daya, maupun stabilitas operasionalnya.

Namun demikian, studi tentang hubungan langsung antara laju korosi elektroda aluminium dan tembaga terhadap penurunan atau peningkatan performa bio-baterai berbasis limbah kulit nanas dengan elektrolit natrium karbonat masih sangat terbatas. Sebagian besar penelitian lebih berfokus pada optimasi substrat organik tanpa menyoroti efek degradasi elektroda secara sistematis selama waktu operasi yang terukur. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis laju korosi elektroda Aluminium dan Tembaga dalam sistem bio-baterai berbasis sari kulit nanas dengan variasi konsentrasi Na_2CO_3 , serta dampaknya terhadap kinerja output listrik.

Penelitian ini diharapkan memberikan gambaran komprehensif mengenai pengaruh korosi elektroda terhadap efisiensi bio-baterai, sekaligus menjadi acuan untuk pengembangan bio-baterai yang lebih stabil dan berumur panjang.

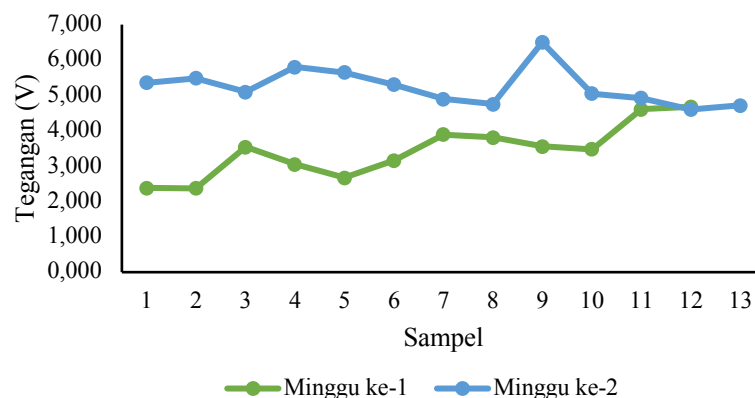
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan sari kulit nanas dengan variasi volume 50 - 250 ml dan larutan natrium karbonat (Na_2CO_3) dengan konsentrasi 0,1 – 0,5 M sebagai elektrolit. Minggu pertama menggunakan konsentrasi 0,1 – 0,3 M dan minggu kedua 0,3 – 0,5 M. Elektroda yang digunakan terdiri dari Aluminium dan Tembaga dengan ukuran 4,5 cm × 7 cm dengan ketebalan 0,2 mm. Sebelum digunakan, elektroda dibersihkan dan ditimbang untuk memperoleh massa awal. Elektrolit dibuat dengan mencampurkan sari kulit nanas dan larutan Na_2CO_3 sesuai variasi, kemudian elektroda dicelupkan dalam larutan dan dihubungkan ke multimeter untuk mengukur tegangan (V) dan arus (mA). Pengukuran dilakukan secara periodik, dan daya (P) dihitung menggunakan rumus $P = V \times I$.

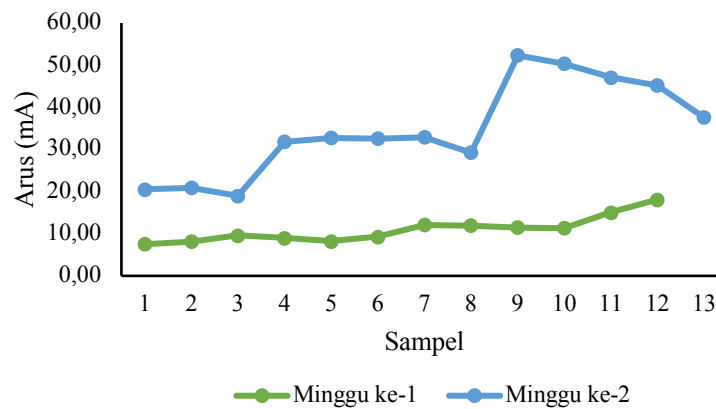
Setelah pengujian, elektroda dikeringkan dan ditimbang kembali untuk mengetahui perubahan massa serta diamati kondisi permukaannya. Analisis korosi dilakukan dengan hukum Faraday untuk menghitung muatan listrik ($Q = I \times t$), jumlah mol logam yang terkorosi ($n = \frac{Q}{(z \times F)}$), massa teoritis ($m = n \times M$), serta laju korosi. Pengamatan dilakukan selama dua minggu, dengan parameter utama meliputi tegangan, arus, daya, perubahan massa, dan visualisasi permukaan elektroda.

HASIL DAN PEMBAHASAN

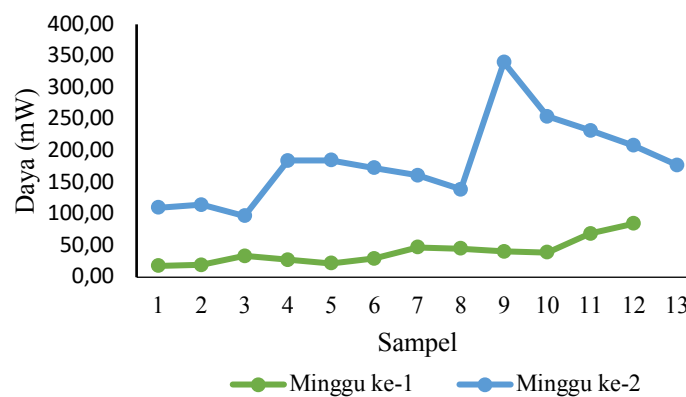
Hasil penelitian ini mencakup pengaruh variasi konsentrasi larutan natrium karbonat dan volume sari kulit nanas terhadap perubahan massa elektroda, laju korosi, serta kinerja tegangan, arus, dan daya listrik yang dihasilkan oleh bio-baterai selama dua minggu pengamatan.



Gambar 1. Grafik Tegangan (V) Bio-Baterai dengan Elektroda Al - Cu pada minggu pertama dan kedua



Gambar 2. Grafik Arus (mA) Bio-Baterai dengan Elektroda Al - Cu pada minggu pertama dan kedua



Gambar 3. Grafik Daya (mW) Bio-Baterai dengan Elektroda Al - Cu pada minggu pertama dan kedua

Tabel 1. Perubahan Massa Elektroda Minggu Pertama

Elektroda	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Perubahan (g)	Keterangan
Aluminium	110,5027	110,5015	-0,0012	Terjadi korosi ringan
Tembaga	99,2117	99,2125	0,0008	Terbentuk endapan

Tabel 2. Perubahan Massa Elektroda Minggu Kedua

Elektroda	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Perubahan (g)	Keterangan
Aluminium	110,5015	110,4995	-0,0020	Korosi semakin parah
Tembaga	99,2125	99,2141	0,0016	Endapan semakin tebal

Tabel 3. Hasil Perhitungan Hukum Faraday dan Laju Degradasi Elektroda Aluminium

Minggu Ke-	Massa Hilang (g)	Muatan (C)	Waktu (s)	Arus (mA)	Laju Degradasi (mg/cm ² /hari)
1	0,0012	12,87	604.800	0,0213	0,0054
2	0,0020	21,45	604.800	0,0355	0,0091

Data diatas menunjukkan perkembangan performa bio-baterai dengan elektroda aluminium (Al) sebagai anoda dan tembaga (Cu) sebagai katoda selama dua minggu pengujian. Berdasarkan **Gambar 1**, tegangan awal berkisar 2,3 – 4,2 V dan meningkat menjadi 4,8 – 6,8 V pada minggu kedua. Peningkatan ini terjadi karena proses transfer ion semakin optimal, dimana Al sebagai anoda lebih mudah teroksidasi sehingga menghasilkan elektron yang mengalir ke Cu sebagai katoda. Penelitian oleh Hamad dkk. (2020), menunjukkan bahwa penggunaan elektroda Al–Cu dalam *microbial fuel cell* (MFC) dapat menghasilkan energi listrik melalui reaksi redoks alami tanpa bantuan mikroba, karena perbedaan potensial yang tinggi di antara kedua logam tersebut. Al berfungsi sebagai donor elektron, sementara Cu sebagai akseptor elektron, sehingga pasangan ini membentuk sistem galvanik yang mampu meningkatkan kinerja listrik.

Hal serupa terlihat pada arus **Gambar 2**, yang semula 3 – 9 mA naik menjadi 10 – 55 mA. Kenaikan ini menunjukkan konduktivitas larutan meningkat akibat degradasi bahan organik kulit nanas dan disosiasi Na_2CO_3 yang menambah ion penghantar listrik. Namun, penurunan pada beberapa sampel disebabkan oleh akumulasi produk korosi yang meningkatkan resistansi internal.

Peningkatan tegangan dan arus berdampak langsung pada daya **Gambar 3**, dari 50 – 150 mW di minggu pertama menjadi 100 – 380 mW di minggu kedua, dengan puncak pada sampel ke-8 hingga ke-10. Setelah itu, daya menurun akibat korosi Al yang mengurangi luas permukaan reaksi. Secara keseluruhan, minggu kedua menunjukkan kinerja optimal, tetapi umur pakai terbatas oleh laju korosi, sehingga diperlukan optimasi seperti perlakuan elektroda atau penambahan inhibitor.

Berdasarkan Tabel 1, perubahan massa elektroda minggu pertama, elektroda aluminium mengalami penurunan massa sebesar 0,0012 gram, sedangkan elektroda tembaga mengalami kenaikan massa sebesar 0,0008 gram. Penurunan massa aluminium menunjukkan terjadinya reaksi oksidasi dan korosi ringan pada elektroda anoda. Sedangkan kenaikan massa tembaga disebabkan oleh terbentuknya endapan hasil reaksi reduksi.

Pada minggu kedua **Tabel 2**, penurunan massa aluminium meningkat menjadi 0,0020 gram, menandakan korosi yang semakin parah akibat paparan larutan basa yang lebih kuat atau lama. Penelitian oleh Zhang dkk. (2023), menyatakan dalam studi tribokorosi aluminium, yang menyebut bahwa oksida pasif pada permukaan aluminium dalam lingkungan basa rentan mengalami degradasi mekanis dan kimia, menyebabkan

peningkatan laju korosi seiring waktu.

Sementara itu, elektroda tembaga kembali mengalami penambahan massa sebesar 0,0016 gram, menunjukkan endapan semakin tebal. Penelitian oleh Noël dkk. (2023b), menjelaskan bahwa dalam larutan basa, tembaga membentuk film pasif ganda (Cu_2O dan CuO/Cu(OH)_2), dan ketebalan lapisan ini meningkat seiring waktu pengujian, terutama pada kondisi alkali yang tinggi. Struktur film ini memperkuat endapan tersebut, meski tidak berkontribusi pada korosi larut yang signifikan.

Berdasarkan **Tabel 3**, perhitungan hukum Faraday dan laju degradasi elektroda aluminium, memperlihatkan peningkatan laju degradasi aluminium dari minggu pertama ke minggu kedua. Pada minggu pertama, massa aluminium mengalami penurunan sebesar 0,0012 gram dari massa awal 110,5027 gram. Penurunan ini masih relatif kecil, ditandai dengan perubahan visual permukaan yang mulai kusam namun belum menunjukkan kerusakan signifikan seperti retakan atau pengelupasan. Berdasarkan hukum Faraday, massa yang hilang ini memerlukan muatan listrik sebesar 12,87 Coulomb, dengan arus rata-rata 0,0213 mA selama 7 hari. Laju degradasi aluminium pada minggu pertama dihitung sebesar 0,0054 $\text{mg/cm}^2/\text{hari}$. Penelitian oleh Kamarska (2022), yang menyatakan bahwa paduan Aluminium EN AW-2024 mengalami laju korosi awal yang menurun secara bertahap, dengan besaran korosi dalam rentang yang sama. Penelitian serupa oleh Li dkk. (2023b), menunjukkan bahwa laju korosi awal Aluminium tipe AA2024-T3 dalam air tawar mencapai sekitar 0,055 $\text{mg/cm}^2/\text{hari}$, yang mendekati hasil degradasi aluminium dalam penelitian ini.

Pada minggu kedua, penurunan massa aluminium meningkat menjadi 0,0020 gram dari massa awal 110,502 gram. Permukaan elektroda menunjukkan tanda-tanda korosi lebih serius seperti ketidakrataan, kekasaran, dan mulai terkelupas. Penelitian oleh Kamarska (2022), menyatakan bahwa laju korosi meningkat signifikan dalam kondisi ionik agresif, terutama pada minggu-minggu awal paparan, dengan gejala permukaan berupa kekasaran dan pengelupasan. Perhitungan hukum Faraday menunjukkan massa hilang ini memerlukan muatan listrik sebesar 21,45 Coulomb dengan arus rata-rata 0,0355 mA. Laju degradasi aluminium pada minggu kedua adalah 0,0091 $\text{mg/cm}^2/\text{hari}$.

Peningkatan ini memperlihatkan bahwa durasi eksposur terhadap elektrolit dan akumulasi ion hasil reaksi mempercepat kerusakan permukaan elektroda. Penelitian oleh Fabris dkk. (2024b), menyatakan bahwa meskipun aluminium membentuk lapisan oksida pasif (Al_2O_3) secara otomatis, film ini rentan larut dalam lingkungan alkali (pH 9 – 12). Ion

hidroksida dan karbonat mampu menyerang lapisan pasif tersebut, sehingga mempercepat proses korosi secara elektrokimia.

Penelitian oleh Sitanggang dkk. (2021b), menunjukkan bahwa kulit nanas mengandung senyawa aktif seperti asam askorbat dan asam sitrat yang dapat berperan ganda, sebagai agen redoks yang mempercepat reaksi elektrokimia, sekaligus sebagai inhibitor parsial dalam kondisi tertentu. Dengan demikian, laju korosi yang terjadi dalam sistem bio- baterai ini sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia larutan dan kondisi operasional seperti pH, suhu, dan durasi reaksi.

Secara umum, hasil menunjukkan bahwa korosi pada aluminium bersifat progresif, namun pada dua minggu awal, tingkat degradasi masih berada dalam rentang yang moderat. Peningkatan arus dan laju degradasi dari minggu pertama ke minggu kedua menunjukkan adanya akumulasi reaksi elektrokimia dan perlu diperhatikan untuk pengembangan bio-baterai jangka panjang.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi natrium karbonat dan volume sari kulit nanas meningkatkan kinerja bio-baterai, dengan daya maksimum 339,95 mW tercapai pada konsentrasi 0,5 M dan volume 50 ml. Namun, peningkatan performa disertai dengan peningkatan laju korosi elektroda aluminium dari 0,0054 menjadi 0,0091 mg/cm²/hari, yang menunjukkan degradasi material semakin intensif. Reaksi elektrokimia juga menyebabkan penambahan massa pada elektroda tembaga akibat endapan. Temuan ini menegaskan pentingnya keseimbangan antara efisiensi listrik dan ketahanan elektroda dalam pengembangan bio-baterai.

DAFTAR PUSTAKA

- Fabris, R., Masi, G., & Bignozzi, M. C. (2024a). Corrosion Behavior of Aluminum Alloys in Different Alkaline Environments: Effect of Alloying Elements and Anodization Treatments. *Coatings*, 14(2). 1-17.
- Fabris, R., Masi, G., & Bignozzi, M. C. (2024b). Corrosion Behavior of Aluminum Alloys in Different Alkaline Environments: Effect of Alloying Elements and Anodization Treatments. *Coatings*, 14(2). 1-17.
- Hamad, M. F., Ali, I. S. M., Alabdly, H. A., Abdul Kader, H. D., & Hasan, B. O. (2020). The Use of Copper and Aluminum Electrodes for Energy Production in a Microbial Fuel Cell. *Journal of Engineering*, 26(6), 72–84.
- Kamarska, K. (2022).
- Kamarska, K. (2022).

- Kamarska, K. (2022). CORROSION OF ALUMINIUM ALLOY EN AW-2024 IN SELECTED ENVIRONMENTS. *Comptes Rendus de L'Academie Bulgare des Sciences*, 75(3), 422–427.
- Li, L., Sakairi, M., Islam, M. S., & Kaneko, A. (2023a). Influence of Metal Cations on Corrosion Behavior of Aluminum Alloy 2024-T3 in Model Freshwater. *Materials Transactions*, 64(2), 540–547.
- Li, L., Sakairi, M., Islam, M. S., & Kaneko, A. (2023b). Influence of Metal Cations on Corrosion Behavior of Aluminum Alloy 2024-T3 in Model Freshwater. *Materials Transactions*, 64(2), 540–547.
- Noël, J., Matin, S., Henderson, J., Biesinger, M., Kobe, B., & Shoesmith, D. W. (2023a). *Susceptibility of copper to pitting corrosion in bicarbonate buffer solutions: Part I. Effect of chloride*. 1–41.
- Noël, J., Matin, S., Henderson, J., Biesinger, M., Kobe, B., & Shoesmith, D. W. (2023b). *Susceptibility of copper to pitting corrosion in bicarbonate buffer solutions: Part I. Effect of chloride*. 1–41.
- Sitanggang, J. E., Latifah, N. Z., Sopian, O., Saputra, Z., Bayu, A., Nandiyanto, D., Anggraeni, S., & Rahmat, A. (2021a). *Analysis of Cassava Peel and Pineapple Peel as Electrolytes in Bio Battery*. 59–62.
- Sitanggang, J. E., Latifah, N. Z., Sopian, O., Saputra, Z., Bayu, A., Nandiyanto, D., Anggraeni, S., & Rahmat, A. (2021b). *Analysis of Cassava Peel and Pineapple Peel as Electrolytes in Bio Battery*. 59–62.
- Sukri, A., Othman, R., Abd-Wahab, F., & Noor, N. M. (2021). Self-sustaining bioelectrochemical cell from fungal degradation of lignin-rich agrowaste. *Energies*, 14(8), 1–11.
- Zhang, Z., Dandu, R. S. B., Klu, E. E., & Cai, W. (2023). A Review on Tribocorrosion Behavior of Aluminum Alloys: From Fundamental Mechanisms to Alloy Design Strategies. *Dalam Corrosion and Materials Degradation*, 4(4), 594–622.