



## Konstruksi Dasar Prototipe Elektroda Luas Permukaan Efektif untuk Meningkatkan Produksi Energi Listrik dari Air Lindi Menggunakan Teknologi *Microbial Fuel Cell*

### INFO PENULIS

Muhammad Hijir Al Gazali  
Universitas Sulawesi Tenggara  
[Hijir-al-gazali@un-sultra.ac.id](mailto:Hijir-al-gazali@un-sultra.ac.id)

La Ode Rasidun  
Institut Dharma Bharata Grup  
[Laoderasidun9@gmail.com](mailto:Laoderasidun9@gmail.com)

Ahmad Zaeni  
Universitas Halu Oleo  
[ahmad.zaeni@gmail.com](mailto:ahmad.zaeni@gmail.com)

### INFO ARTIKEL

ISSN: 3026-3603  
Vol.3, No. 1 April 2025  
<http://jurnal.ardenjaya.com/index.php/ajst>

© 2025 Arden Jaya Publisher All rights reserved

### **Saran Penulisan Referensi:**

Gazali, M. H A., Rasidun, L, O., & Zaeni, A. (2025). Konstruksi Dasar Prototipe Elektroda Luas Permukaan Efektif untuk Meningkatkan Produksi Energi Listrik dari Air Lindi Menggunakan Teknologi *Microbial Fuel Cell*. *Arus Jurnal Sains dan Teknologi*, 3(1),141 -147.

### **Abstrak**

Telah dilakukan penelitian mengenai Konstruksi Dasar Prototipe Elektroda Luas Permukaan Efektif untuk Meningkatkan Produksi Energi Listrik dari Air Lindi Menggunakan Teknologi *Microbial Fuel Cell*. Modifikasi elektroda dilakukan terhadap elektroda anoda yang terpapar langsung ke substrat (air lindi). Sebagai pembanding juga disiapkan anoda berbentuk pelat. Masing-masing diterapkan pada sel *microbial fuel cell* (MFC) membentuk dua varian MFC, MFC elektroda GL-GL (anoda pelat) dan MFC elektroda LPE-GL (anoda termodifikasi). Dari hasil pengukuran memperlihatkan kenaikan nilai tegangan listrik pada MFC elektroda LPE-GL lebih fluktuatif dibandingkan dengan MFC elektroda GL-GL. Selain itu MFC elektroda LPE-GL beberapa kali mencapai nilai tegangan maksimum yang lebih tinggi dari MFC elektroda GL-GL. Hal ini menunjukkan bahwa elektroda anoda termodifikasi berpotensi untuk diteliti bagi pengembangan lebih lanjut.

**Kata kunci:** air lindi, microbial fuel cell, anoda termodifikasi, MFC elektroda GL-GL, MFC elektroda LPE-GL

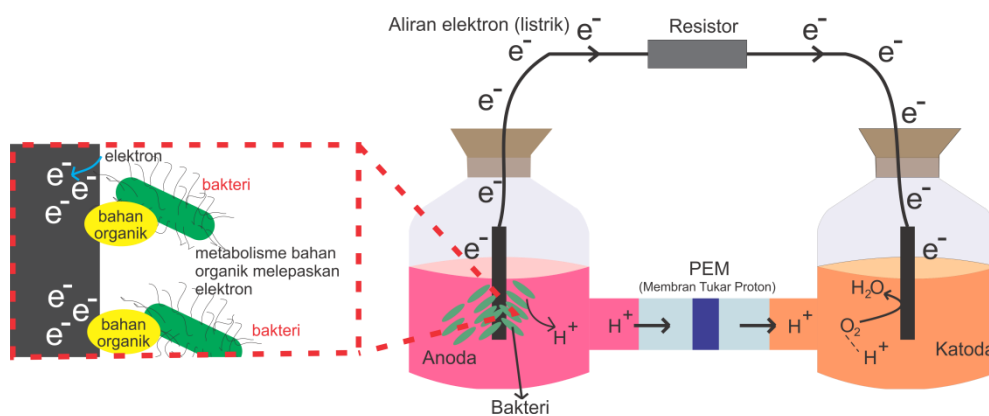
### **Abstract**

A study concerning Basic Construction of an Effective Surface Area Electrode Prototype to Increase Electrical Energy Production from Leachate Using Microbial Fuel Cell Technology has been conducted. Electrode modification was carried out on the anode electrode that was directly exposed to the substrate (leachate). As a comparison, a plate-shaped anode was also prepared. Each was applied to a microbial fuel cell (MFC) to form two MFC variants, the GL-GL electrode MFC (plate anode) and the LPE-GL electrode MFC (modified anode). The measurement results showed that the increase in the electrical voltage value on the LPE-GL electrode MFC was more fluctuating compared to the GL-GL electrode MFC. In addition, the LPE-GL electrode MFC several times reached a higher maximum voltage value than the GL-GL electrode MFC. This shows that the modified anode electrode has the potential to be studied for further development.

**Keywords:** leachate, microbial fuel cell, modified anode, GL-GL electrode MFC, LPE-GL electrode MFC

## A. Pendahuluan

Isu energi dan lingkungan merupakan permasalahan penting yang pasti dimiliki oleh setiap negara. Masalah energi terkait dengan ketersediaan, keramahan dan keberlanjutan sumber daya energi tertentu sedangkan masalah lingkungan terkait dengan masalah sanitasi. Kadang kala sektor energi memiliki keterkaitan dengan sektor lingkungan. Misalnya dengan penggunaan bahan bakar fosil yang mencakup gas alam, minyak bumi dan batu bara selama bertahun-tahun diketahui telah menyebabkan tingginya kadar gas rumah kaca di atmosfer sehingga iklim menjadi tidak stabil, memanasnya suhu bumi serta naiknya permukaan laut (Pertamina, 2020). Di sisi lain bahan bakar fosil tergolong sumber daya alam tak dapat diperbaharui sehingga suatu saat akan habis (*depleted*). Oleh karena itu diperlukan suatu gagasan untuk menanggulangi masalah sumber daya energi yang tidak saja bertujuan untuk men-substitusi sumber energi fosil tetapi yang dapat juga bersifat lestari (*sustainable*). Terkait dengan itu salah satu konsep teknologi produksi energi yang hingga kini terus dikaji dan dikembangkan adalah *Microbial Fuel Cell* (MFC). MFC merupakan varian dari *fuel cell* yang secara umum tersusun atas elektroda (anoda dan katoda) dan suatu elektrolit. MFC secara khusus bekerja dengan memanfaatkan aktivitas metabolisme bakteri terhadap bahan-bahan organik untuk menciptakan energi listrik (Sulistiyawati et al, 2020).



Gambar 1. Prinsip kerja MFC (Naha et al, 2023)

MFC menggunakan bahan-bahan organik sebagai sumber energinya. Bahan organik yang dimaksud dapat berupa limbah organik contohnya seperti air lindi. Air lindi merupakan cairan yang merembes dari tumpukan sampah dengan membawa sejumlah bahan terlarut atau pun tersuspensi. Air lindi mengandung zat pencemar dalam kadar tinggi khususnya berupa zat-zat organik (Zamudio et al, 2024). Selain itu air lindi juga mengandung sejumlah bakteri patogen (Sha et al, 2023). Berdasarkan uraian ini air lindi sangat berpotensi menjadi substrat MFC karena mengandung bahan organik dan sejumlah bakteri.



Gambar 2. Kolam penampungan air lindi (Sha et al, 2023)

MFC hakikatnya masih berupa teknologi dalam tahap riset pengembangan. Hal ini karena masih rendahnya daya listrik yang dihasilkan MFC. Oleh karena itu performa MFC masih dapat dioptimasi lebih lanjut dengan mengeksplorasi komponen-komponen yang ada padanya seperti elektroda, membran maupun jenis bakteri dan mediator yang digunakan dalam substrat. Urgensi penelitian ini terletak pada nilai kebaruan dan potensinya sebagai teknologi energi ramah lingkungan sekaligus sebagai gagasan baru dalam upaya penanggulangan masalah air

lindi. Permasalahan pokok dalam upaya pengembangan teknologi MFC ini yaitu bagaimana cara untuk meningkatkan produksi energi listrik MFC dengan berfokus pada parameter kuat arus listrik.

Riset bertema upaya optimasi kinerja MFC, di antaranya dengan perlakuan modifikasi elektroda telah beberapa kali dilakukan. Seperti Modifikasi elektroda katoda dengan mensintesis nanomaterial  $MnO_2$ ;  $MnO_2$ /polianilin;  $ZnO/NiO$  dan  $ZnO/NiO$ /polianilin pada permukaan karbon microfiber (Somasiri et al, 2023), pelapisan karbon terhadap logam tembaga dengan metode elektrolisis dan pelapisan pasta karbon (Wangsa et al, 2018), serta modifikasi anoda MFC dengan prosedur elektrodeposisi material CNT-hidrogel pada karbon lembar (*sheet*) (Liu et al, 2014).

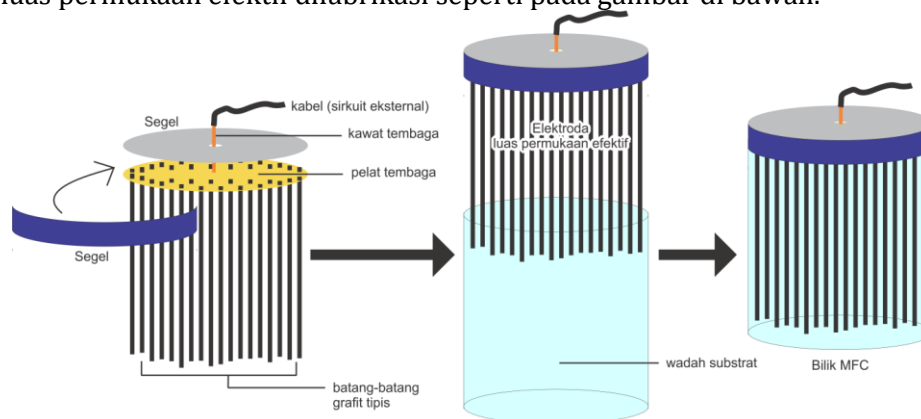
Pada prinsipnya anoda dalam MFC harus memiliki dua karakteristik penting yakni konduktivitas yang tinggi dan biokompatibilitas yang baik. Hal ini dikarenakan anoda sebagai elektroda juga merupakan tempat terbentuknya lapisan biofilm, suatu ekosistem bakteri di mana sejumlah elektron dihasilkan. Hakikatnya anoda MFC harus bersifat konduktif dan "ramah" bagi kehidupan bakteri. Selain itu, faktor lain yang dapat mempengaruhi performa anoda adalah bentuk dan ukuran anoda karena pertumbuhan biofilm sangat bergantung pada luas permukaan tersedia. Konduktivitas merupakan parameter yang berkaitan dengan efisiensi transfer elektron sehingga menjadi faktor penting dalam preparasi anoda. Terkait dengan itu beberapa jenis logam seperti tembaga dan platinum dapat dipertimbangkan sebagai bahan anoda karena secara umum logam bersifat konduktif. Namun demikian bahan logam tidak begitu ramah bagi kehidupan mikroba (Banerjee et al, 2022). Uraian di atas menjadi dasar dalam penelitian ini untuk memfabrikasi suatu desain elektroda baru. Desain ini merupakan modifikasi dari elektroda berbahan karbon, yaitu dengan memadukan karbon (grafit) dan tembaga membentuk suatu sistem elektroda.

## B. Metodologi

### 1. Prosedur Penelitian

#### a. Proses preparasi elektroda

Elektroda luas permukaan efektif difabrikasi seperti pada gambar di bawah.



Gambar 3. Desain konstruksi dasar elektroda luas permukaan efektif (LPE) Sejumlah batang grafit sebagai material biokompatibel dan pelat tembaga sebagai material konduktif dipadukan sedemikian rupa seperti pada gambar di atas (gambar 3).

#### b. Penyiapan sampel air lindi sebagai substrat MFC

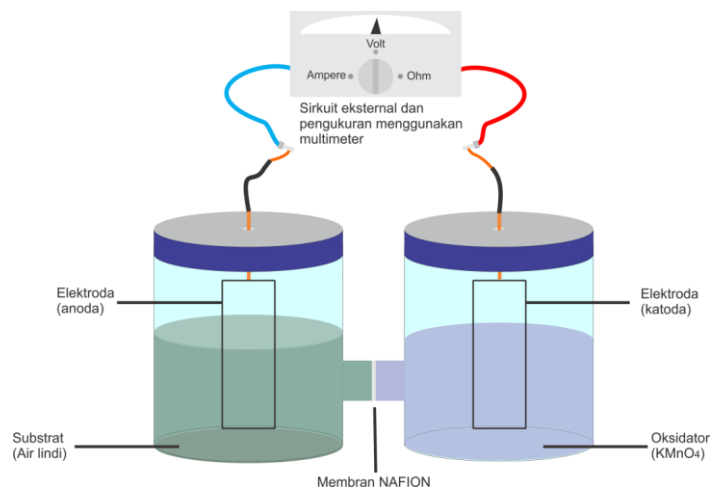
Sampel air lindi dikumpulkan dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Puuwatu, Kota Kendari dan ditempatkan dalam wadah/jergen 5 L.

#### c. Penyiapan oksidator $KMnO_4$

Sebanyak 0,79017 gram  $KMnO_4$  padat ditimbang di atas kaca arloji. Selanjutnya  $KMnO_4$  padat 0,79017 gram dimasukkan ke dalam gelas beaker 100 mL. Tuangkan akuades secukupnya ke dalam gelas beaker berisi  $KMnO_4$  padat lalu dilakukan pengadukan. Larutan  $KMnO_4$  yang terbentuk dimasukkan ke dalam labu takar 250 mL. Tambahkan akuades ke dalam labu takar hingga tanda tera (miniskus bawah). Larutan  $KMnO_4$  kemudian dihomogenkan dengan cara digojok.

#### d. Konstruksi rangkaian MFC

Rangkaian MFC model dua kamar (*dual chamber*) difabrikasi seperti pada Gambar 4, lengkap dengan substrat dan oksidator ( $KMnO_4$ ).

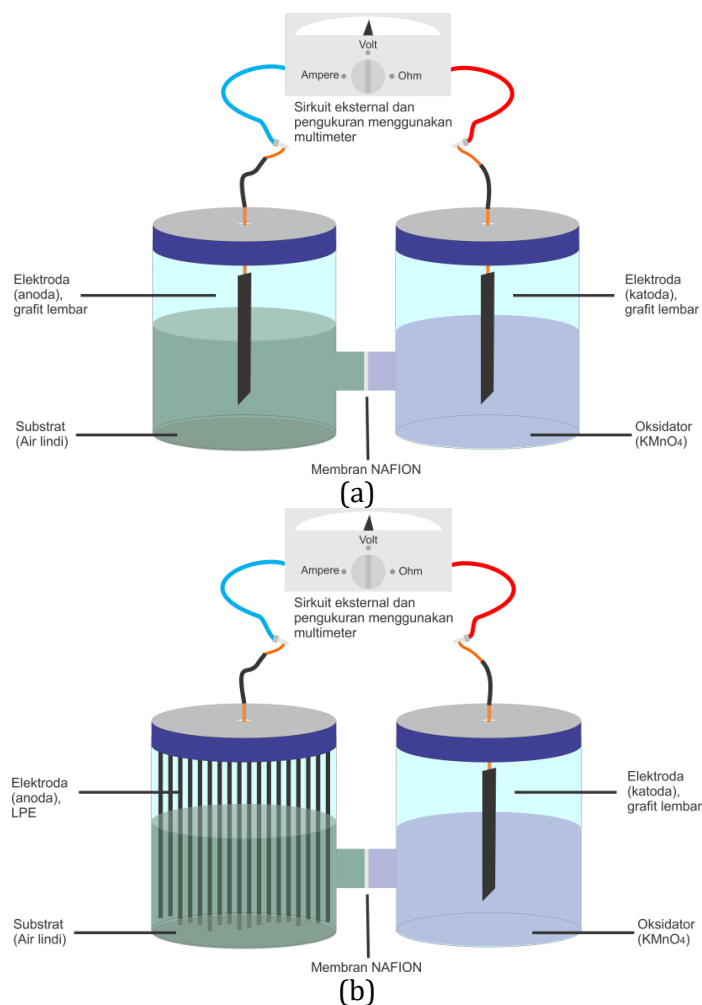


Gambar 4. Desain MFC substrat air lindi

Gambar di atas memperlihatkan skema rangkaian MFC sekaligus desain pengukuran tegangan dan arus listrik MFC.

#### e. Pengukuran Tegangan Listrik MFC

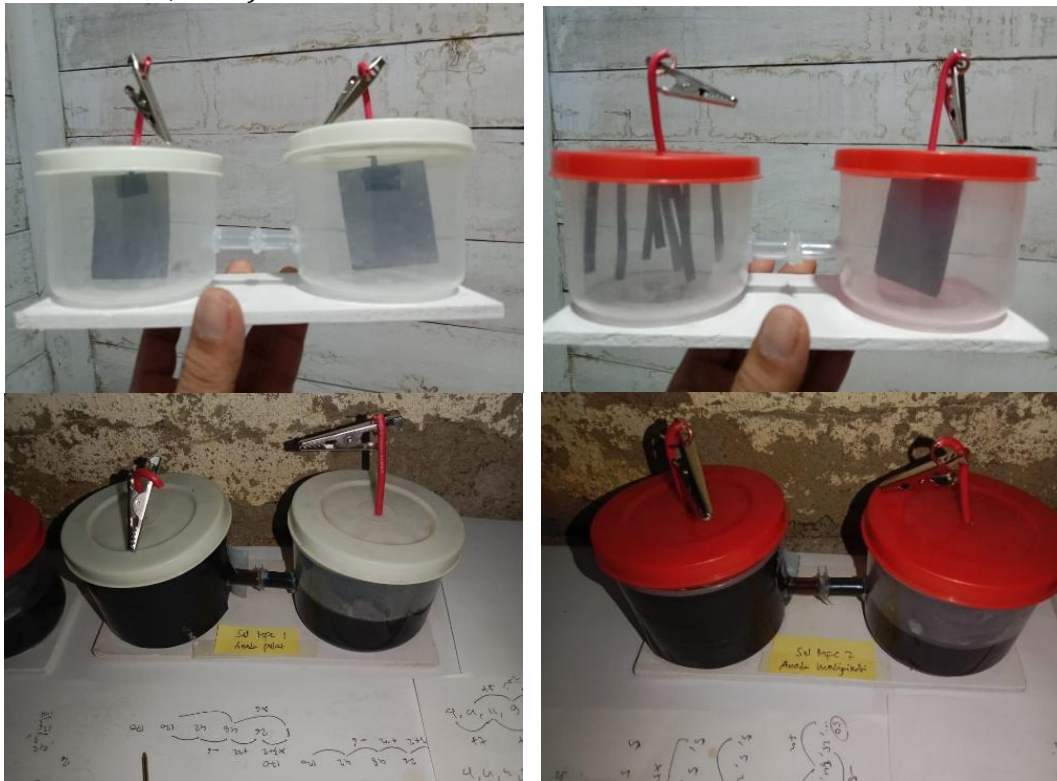
Pengukuran tegangan listrik MFC dilakukan pada masing-masing varian MFC : (a) MFC dengan anoda dan katodanya berupa grafit lembar, MFC elektroda GL-GL dan (b) MFC dengan anoda termodifikasi luas permukaan efektif dan katoda grafit lembar, MFC elektroda LPE-GL. Interval pengukuran setiap 1 (satu) jam sekali dan dilaksanakan selama 9 (sembilan) jam. Selanjutnya trend (kecenderungan) peningkatan tegangan listrik masing-masing MFC diperbandingkan. Berikut ini variasi MFC yang disiapkan untuk melakukan pengamatan (Gambar 5).



Gambar 5. Desain pengukuran MFC dengan variasi elektroda :  
 (a) MFC elektroda GL-GL  
 (b) MFC elektroda LPE-GL

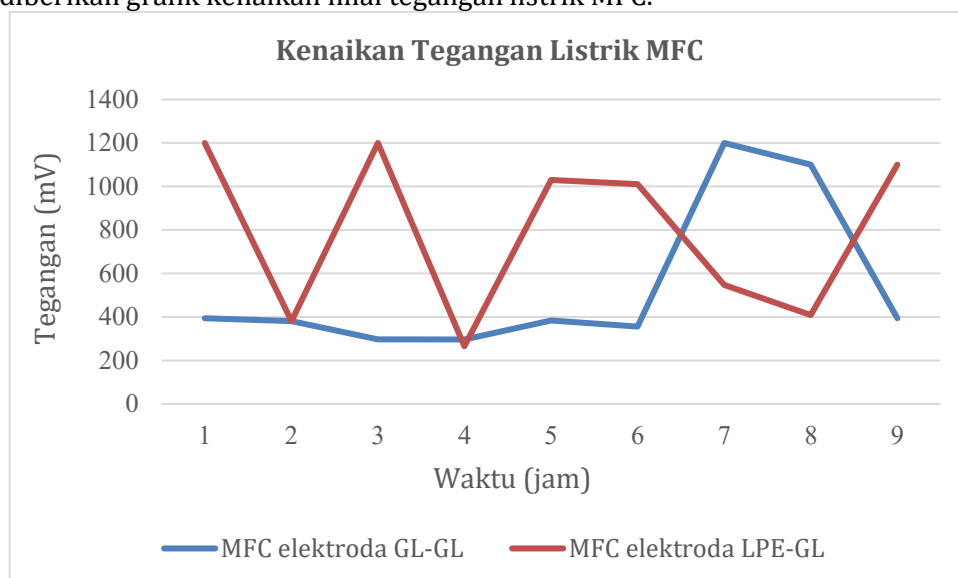
### C. Hasil dan Pembahasan

Pengamatan tegangan listrik dalam 9 (Sembilan) jam pertama dapat dikategorikan sebagai pengamatan *Open Circuit Voltage* (OCV). Nilai OCV ini akan memberikan gambaran kecenderungan MFC dalam menghasilkan tegangan listrik. Sebelumnya telah dilaporkan bahwa MFC pada pengukuran awal menunjukkan laju kenaikan tegangan listrik yang relatif cepat, selanjutnya laju kenaikan tegangannya melambat sampai akhirnya relatif konstan (Singh et al, 2021; Sudarman et al, 2020).



Gambar 6. Sel MFC : (a) MFC elektroda GL-GL dan (b) MFC elektroda LPE-GL, gambar atas dan bawah masing-masing sebelum dan sesudah diisi substrat air lindi dan oksidator  $\text{KMnO}_4$ .

Berikut ini diberikan grafik kenaikan nilai tegangan listrik MFC.



Gambar 7. Kenaikan nilai tegangan listrik Sel MFC : (a) MFC elektroda GL-GL dan (b) MFC elektroda LPE-GL.

## Pembahasan

Kenaikan nilai tegangan listrik berbanding lurus dengan progres pembentukan biofilm pada permukaan anoda. Secara umum diketahui biofilm terbentuk di permukaan anoda melalui 5 (lima) tahapan : pelekatan sel, multiplikasi sel, pematangan fase 1, pematangan fase 2 dan proses disperse (sebaran) biofilm. Awal proses pembentukan biofilm pola pertumbuhan bakteri terjadi secara logaritmik dengan memanfaatkan kandungan nutrient (dari zat pencemar lindi) untuk memproduksi EPS (eksopolisakarida), suatu bahan kimia berfungsi membantu pelekatan sel ke permukaan anoda. Sepanjang proses pemanfaatan nutrient oleh bakteri ini berlangsung sejumlah electron pun dilepaskan dan menimpa permukaan anoda, hal ini kemudian menimbulkan beda potensial (tegangan) dalam MFC (Ghoreyshi et al, 2011). Pada grafik di atas ditunjukkan bahwa masing-masing varian MFC menghasilkan tegangan listrik dengan nilai yang bervariasi dari waktu ke waktu. Secara umum, timbulnya tegangan listrik MFC dengan nilai tertentu sebagaimana ditampilkan pada grafik sesuai dengan uraian mengenai terbentuknya biofilm.

Grafik kenaikan nilai tegangan listrik juga memperlihatkan *trend* yang berbeda antara masing-masing varian MFC, yaitu MFC elektroda GL-GL menunjukkan nilai yang relatif konstan dari waktu ke waktu sebelum mengalami kenaikan pada jam ke-7 dan akhirnya kembali mengalami penurunan. Sedangkan varian MFC elektroda LPE-GL memperlihatkan pertumbuhan nilai tegangan yang sangat fluktuatif, serta mencapai tegangan maksimum pada waktu-waktu tertentu. Perbedaan trend kenaikan nilai tegangan ini dipengaruhi oleh perbedaan desain elektroda pada masing-masing varian MFC. Pada MFC elektroda GL-GL, permukaan anoda terpapar ke lingkungan dalam substrat yang relatif sama atau berdekatan. Hal ini menyebabkan aktivitas bakteri di seluruh permukaan anoda relatif sama sehingga nilai tegangan listrik yang dihasilkan pun cenderung konstan. Sedangkan pada MFC elektroda LPE-GL, elektroda anoda didesain dengan permukaan lebih tersebar sehingga bagian-bagian dari permukaan anoda terpapar ke lingkungan atau titik-titik dalam substrat yang berbeda. Sebagai konsekuensinya, aktivitas bakteri pun akan berbeda di masing-masing permukaan anoda dan menciptakan nilai tegangan listrik yang amat variatif/fluktuatif. Aktivitas bakteri terkait erat dengan produksi elektron di sekitar permukaan anoda.

Varian MFC elektroda LPE-GL mencapai nilai tegangan listrik yang relatif tinggi pada waktu-waktu tertentu di mana gejala ini tidak tampak pada varian MFC elektroda GL-GL yang nilai tegangannya relatif konstan. Hal ini juga berkaitan dengan desain anoda pada MFC elektroda LPE-GL. Permukaan anoda yang relatif tersebar menjangkau lebih banyak situs dalam lingkungan keruahan substrat. Hal ini akan mengakumulasi lebih banyak elektron dikarenakan beragamnya lingkungan bakteri yang dijangkau oleh anoda LPE dan pada gilirannya menciptakan beda potensial yang lebih besar.

## D. Kesimpulan

Hasil dari penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa elektroda anoda termodifikasi menghasilkan nilai potensial listrik lebih tinggi pada MFC dibandingkan dengan elektroda anoda biasa. Namun nilai potensial yang dihasilkan masih cukup fluktuatif atau belum stabil sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut.

## E. Referensi

- Banerjee, A., Calay, R.K., and Mustafa, M. (2022). Review on Material and Design of Anoda for Microbial Fuel Cell. *Energies*, 15, 2283.
- Ghoreyshi, A.A., Jafary, T., Najafpour, G.D., Haghparast, F., 2011. Effect of type and concentration of substrate on power generation in a dual chambered microbial fuel cell. *World Renewable Energy Congress*.
- Liu, X.W., Huang, Y.X., Sun, X.F., Sheng, G.P., Zhao, F., Wang, S.G., Yu, H.Q. (2014). Conductive Carbon Nanotube Hydrogel as a Bioanode for Enhanced Microbial Electrocatalysis. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 6(11), 8158-8164.
- Naha, A., Debroy, R., Sharma, D., Shah, M.P., Nath. (2023). Microbial Fuel Cell : A state-of-the-art and Revolutionizing Technology for Efficient Energy Recovery, *Cleaner Circular Bioeconomy*, 5, 100050.
- Pertamina Energi Institute. (2000). Pertamina Energy Outlook 2020.

- Sha, H., Liu, Z., Sun, Y., Wang, Y., Wang, X., Zheng, J., Ma, Y., and He, X. (2023). Leachate Leakage Enhances the Microbial Diversity and Richness but Decreases Proteobacteria and Weakens Stable Microbial Ecosystem in Landfill Groundwater. *Water Research*, 243, 120321.
- Singh, A., Kaushik, A. (2021). Sustained Energy Production from Wastewater in Microbial Fuel Cell: Effect of Inoculum Source Electrode Spacing and Working Volume. *Biotech*, 3(11), 344.
- Somasiri, M., Amandani, T., Basnayaka, C., Ahsan, A., Dilangani, G.P., Herath, A.C., Bandara, S., Nazeer, Z., Kyazze, N.T.G. and Fernando, E.Y. (2023). Use of Nanomaterials-modified microfibre electrode material for superior electrochemical performance in lake sediment inoculated microbial fuel cells. <https://doi.org/10.1101/2023.07.10.548441>.
- Sudarman, R., Zaeni, A., Usman, I., Alwahab, Hidayatullah, I., 2020. Optimization of Electricity Generation from Marine Sediment of Kendari Bay Using Stacked Sediment Microbial Fuel Cell. *Journal of Physics*, 1450.
- Sulistiyawati, I., Rahayu N.L., dan Purwatiningrum, F.P. (2020). Produksi Biolistrik Menggunakan Microbial Fuel Cell (MFC) *Lactobacillus bulgaricus* dengan Substrat Limbah Tempe dan Tahu, *Majalah Ilmiah Biologi Biosfera*, 37(2), 112-117.
- Wangsa, B.A., Iskandar, R.F., dan Suhendi, A. (2018). Studi Pengaruh Pelapisan Elektroda dengan Bahan Dasar Karbon-Logam pada Sistem Sel Tunam Mikroba. *e-Proceeding of Engineering*, 5(3), 5933.
- Zamudio, L.Y.M., Gonzales, R.B.G., Araujo, R.G., Hernandez, J.A.R., Contreras, E.A.F., Martinez, E.M.M., Saldivar, R.P., and Iqbal, H.M.N. (2024). Emerging Pollutants Removal from Leachates and Water Bodies by Nanozyme-based Approaches, *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 37, 100522.