

# PENGARUH KONSENTRASI $KMnO_4$ TERHADAP BIOELEKTRISITAS DOUBLE CHAMBER MICROBIAL FUEL CELL DENGAN SUBTRAT LIMBAH KULIT KAKAO

Fitriana<sup>1\*</sup>, Muhammad A'an Auliq<sup>2</sup>, Senki Desta Galuh<sup>3</sup>, Sutikno<sup>4</sup>, Daffa Gibran Adytia<sup>5</sup>,  
Moh. Ibnu Hasan<sup>6</sup>

<sup>1,2,4,5,6</sup> Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Jember, Jember, Indonesia

<sup>3</sup> Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Jember, Jember, Indonesia

Email: fitriana@unmuhjember.ac.id\*, aan.auliq@unmuhjember.ac.id, senki.desta@unmuhjember.ac.id,  
sutikno@unmuhjember.ac.id, daffagibrann25@gmail.com, ibnu48987@gmail.com

## Info Artikel

Histori Artikel:

Diterima Mar 15, 2025

Direvisi Apr 12, 2025

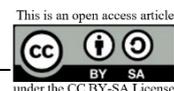
Disetujui Apr 30, 2025



## ABSTRACT

The increasing use of fossil fuels for electricity generation leads to scarcity and greenhouse gas emissions, necessitating a transition to environmentally friendly renewable energy. One renewable energy source that is currently being developed is the Microbial Fuel Cell (MFC), which utilizes bacterial metabolism to generate electrical energy. MFC generally consists of two chambers: an anode chamber containing microorganisms and substrates, and a cathode chamber containing an electrolyte solution. The organic material used as a substrate in the anode chamber of the MFC in this study is cocoa pod husk waste, while the electrolyte solution in the cathode chamber is potassium permanganate ( $KMnO_4$ ). This study will analyze the effect of  $KMnO_4$  concentration on the bioelectricity of the cocoa pod husk MFC, including current, voltage, and power density. The  $KMnO_4$  concentrations used are 0.02 M, 0.03 M, and 0.04 M. The bioelectricity testing results show that the  $KMnO_4$  concentration in the cathode chamber affects the system's performance, with a 0.03 M concentration producing the highest current and power density.

**Keywords:** Bioelectricity;  $KMnO_4$ ; Cocoa Pod Husk; MFC



## ABSTRAK

Peningkatan penggunaan bahan bakar fosil untuk energi listrik memicu kelangkaan dan emisi gas rumah kaca, sehingga diperlukan solusi berupa transisi ke energi terbarukan yang ramah lingkungan. Salah satu energi terbarukan yang saat ini banyak dikembangkan yaitu Microbial Fuel Cell (MFC) yang memanfaatkan metabolisme bakteri untuk menghasilkan energi listrik. MFC pada umumnya terdiri atas dua ruang yaitu ruang anode yang berisi mikroorganisme dan substrat serta ruang katode yang berisi larutan elektrolit. Bahan organik yang digunakan sebagai substrat pada ruang anode MFC pada penelitian ini yaitu limbah kulit kakao sedangkan larutan elektrolit yang digunakan pada ruang katode adalah kalium permanganat ( $KMnO_4$ ). Pada penelitian ini, akan dilakukan analisis pengaruh konsentrasi larutan  $KMnO_4$  terhadap bioelektrisitas MFC limbah kulit kakao yang meliputi arus, tegangan, dan rapat daya. Variasi konsentrasi  $KMnO_4$  yang digunakan yaitu 0,02 M; 0,03 M; dan 0,04 M. Hasil pengujian bioelektrisitas menunjukkan bahwa konsentrasi  $KMnO_4$  pada ruang katode mempengaruhi kinerja sistem, dengan konsentrasi 0,03 M menghasilkan arus dan rapat daya tertinggi.

**Kata Kunci:** Bioelektrisitas;  $KMnO_4$ ; Kulit Kakao; MFC

## Penulis Korespondensi:

Fitriana,

Teknik Elektro, Fakultas Teknik,

Universitas Muhammadiyah Jember,

Jalan Karimata No.49 Jember.

Email: fitriana@unmuhjember.ac.id



## 1. PENDAHULUAN

Permasalahan energi akibat semakin menipisnya ketersediaan sumber energi fosil dan pemanasan global akibat penggunaan sumber energi fosil yang terus meningkat menjadi perhatian utama bagi banyak negara di dunia, termasuk di Indonesia [1]. Solusi potensial yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan energi tersebut adalah dengan mengembangkan energi terbarukan yang ramah lingkungan. Penggunaan energi terbarukan tersebut diharapkan dapat mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil dan mengurangi emisi gas rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global [2, 3].

Salah satu inovasi dalam energi terbarukan adalah teknologi *microbial fuel cell (MFC)* yang mampu menghasilkan energi listrik melalui reaksi katalitik dalam kondisi anaerob dengan memanfaatkan mikroorganisme [4]. Reaktor dengan model *double chamber MFC* umumnya terdiri dari ruang anode sebagai tempat berlangsungnya reaksi biokimiawi secara anaerob dan ruang katode sebagai tempat berlangsungnya reaksi biokimiawi secara aerob. Kedua ruang tersebut dipisahkan oleh mediator penukar proton yang dapat berupa membran atau jembatan garam. Pada masing-masing ruang terdapat elektroda (kutub) yang berfungsi sebagai tempat keluar masuknya aliran listrik. Elektroda ini terbuat dari bahan yang bersifat konduktif seperti timbal, seng, dan tembaga elektroda pada ruang anode merupakan kutub negatif sedangkan elektroda pada ruang katode merupakan kutub positif [5].

Ruang anode pada MFC berisi mikroorganisme dan substrat. Mikroorganisme yang telah dipakai pada penelitian terkait MFC diantaranya yaitu bakteri *Bacillus Subtilis* [6], *Saccharomyces cerevisiae* [7], *Eschericia coli* [8], dan lain sebagainya. Substrat pada MFC merupakan senyawa *organic biodegradable* yang nantinya akan dirubah mikroorganisme menjadi energi listrik. Substrat pada *Microbial Fuel Cell (MFC)* merupakan bahan organik yang digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber energi dan karbon, yang kemudian diuraikan untuk menghasilkan elektron dan proton. Beberapa bahan organik yang telah digunakan pada MFC diantaranya yaitu limbah cair tempe [9], limbah tahu [10], kulit pisang [11], kulit jeruk [12], kulit kakao [13], dan lain sebagainya. Ruang katode MFC berisi larutan elektrolit yang berfungsi sebagai medium reaksi reduksi untuk menyediakan akseptor elektron. Larutan elektrolit pada katode MFC harus terbuat dari bahan yang mudah mereduksi dan menghantarkan listrik seperti  $\text{KMnO}_4$ ,

$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , dan  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  [14].

Pada ruang anode, mikroba atau bakteri akan mengoksidasi substrat yang berupa senyawa organik. Pada proses ini bakteri akan melepaskan elektron sehingga terjadi beda potensial antara anode dan katode yang akan menghasilkan arus listrik [15].

Senyawa organik yang terkandung pada substrat seperti glukosa, selulosa, dan hemiselulosa merupakan sumber nutrisi bagi mikroba untuk melakukan aktivitas metabolisme sehingga dihasilkan energi listrik. Limbah kulit kakao memiliki kandungan senyawa organik yang tinggi seperti protein 5,9 %, lignin 14,6%, pektin 6,1%, selulosa 35%, dan hemiselulosa 11% [16]. Kandungan selulosa yang cukup tinggi ini membuat limbah kulit kakao berpotensi untuk dijadikan substrat pada ruang anode MFC. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Fitriana et al. [7] menunjukkan bahwa MFC yang berasal dari limbah kulit kakao dapat menghasilkan tegangan sebesar 36 mV, arus sebesar 0,19 mA, dan rapat arus sebesar 456 mW/m<sup>2</sup>. Pada penelitian tersebut, peneliti melakukan pengamatan terhadap tegangan, arus, dan rapat arus selama beberapa hari dan belum melakukan variasi terhadap parameter-parameter lainnya.

Salah satu parameter yang dapat mempengaruhi kinerja MFC adalah larutan elektrolit pada katode. Kalium permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) merupakan senyawa kimia yang dikenal sebagai oksidator kuat dan telah dieksplorasi sebagai larutan elektrolit di katode MFC [17]. Pada MFC,  $\text{KMnO}_4$  pada ruang katode berperan untuk menerima elektron dari anode. Konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  yang terlalu rendah menyebabkan jumlah oksidator yang tersedia tidak cukup untuk menerima elektron sehingga daya listrik yang dihasilkan rendah. Sebaliknya, konsentrasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan *side reaction* atau bahkan pembentukan endapan  $\text{MnO}_2$ , yang dapat menurunkan kinerja sistem dan merusak elektroda. Berdasarkan hal tersebut maka pada penelitian ini dilakukan variasi konsentrasi larutan  $\text{KMnO}_4$  pada ruang katode. Hal ini dilakukan untuk mengetahui konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  yang optimal untuk menghasilkan bioelektrisitas MFC limbah kulit kakao yang maksimal yang meliputi tegangan, arus, dan rapat daya. Variasi konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  yang digunakan yaitu 0,02 M; 0,03 M; dan 0,04 M. Hasil penelitian tentang pengaruh konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  diharapkan dapat membantu dalam merancang MFC yang lebih efisien dan ramah lingkungan, mengingat  $\text{KMnO}_4$  merupakan bahan kimia yang relatif mahal dan

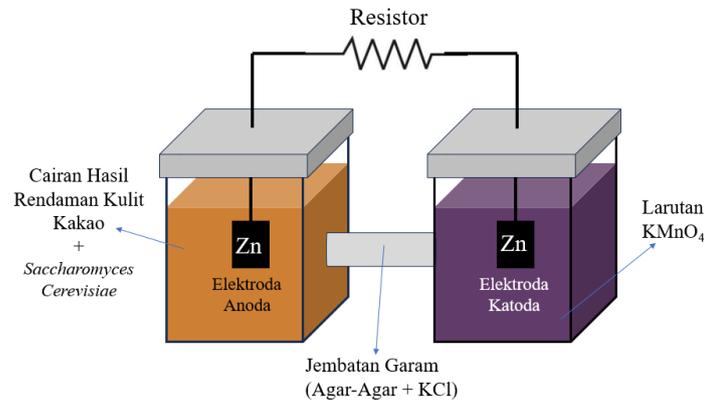
berisiko bagi lingkungan jika digunakan secara berlebihan.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Perancangan Reaktor MFC

Reaktor MFC yang dihasilkan dari penelitian ini menggunakan konfigurasi dua ruang (*double chamber*) berskala laboratorium yaitu ruang anode

dan ruang katode seperti yang terlihat pada [Gambar 1](#). Masing-masing ruang terbuat dari bahan akrilik dan berukuran 13 cm x 13 cm x 23 cm. Elektroda pada ruang anode dan katode terbuat dari bahan yang sama yaitu seng (Zn) dan masing-masing berukuran 5 cm x 4 cm. Elektroda pada ruang anode dan ruang katode dihubungkan dengan hambatan 1Ω, sedangkan ruang anode dan ruang katode dihubungkan dengan jembatan garam.



**Gambar 1** Desain MFC

### 2.2 Preparasi Subtrat

Sebanyak 120 gram kulit coklat yang sudah dihaluskan direndam ke dalam 4 liter air selama 12 jam. Selanjutnya dilakukan penyaringan sehingga diperoleh cairan hasil rendaman kulit kakao yang kemudian digunakan sebagai substrat MFC.

### 2.3 Preparasi Larutan Ruang Anode

Larutan untuk ruang anode dibuat dengan menambahkan 1 gram yeast (*Saccharomyces cerevisiae*), 1 gram of peptone, 3 gram ammonium sulfate [(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>], dan 3 gram potassium dihydrogen phosphate [KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>] ke dalam 100 ml cairan hasil rendaman kulit kakao yang kemudian diaduk selama 15 menit menggunakan magnetic stirrer agar dihasilkan larutan yang homogen.

### 2.4 Preparasi Larutan Ruang Katode

Larutan untuk ruang katode pada penelitian ini dibuatkan dengan mencampurkan KMnO<sub>4</sub> ke dalam H<sub>2</sub>O yang kemudian diaduk menggunakan magnetik stirrer selama 5 menit agar dihasilkan larutan yang homogen. Variasi konsentrasi KMnO<sub>4</sub> pada penelitian ini yaitu 0,02 M; 0,03 M, dan 0,04 M. Larutan KMnO<sub>4</sub> 0,02 M dibuat dengan mencampurkan 3,16 gram KMnO<sub>4</sub> ke dalam 100 ml air, larutan KMnO<sub>4</sub> 0,03 M dibuat dengan mencampurkan 4,74 gram KMnO<sub>4</sub> ke dalam 100 ml air, sedangkan larutan KMnO<sub>4</sub> 0,04 M dibuat dengan mencampurkan 6,32 gram KMnO<sub>4</sub> ke dalam 100 ml air.

### 2.5 Preparasi Jembatan Garam

Sebanyak 2 gram KCl dan 5 gram agar ditambah ke dalam 100 ml H<sub>2</sub>O (air) kemudian dipanaskan sambil terus diaduk dan setelah agak mengental kemudian dimasukkan ke dalam pipa plastik berdiameter 1,5 cm dan selanjutnya didinginkan selama 24 jam.

### 2.6 Pengujian Bioelektrisitas Microbial Fuel Cell

Pengujian bioelektrisitas dilakukan dengan cara mengukur tegangan, arus, dan rapat daya yang dihasilkan microbial fuel cell untuk setiap variasi konsentrasi KMnO<sub>4</sub>. Pengukuran tegangan dan arus dilakukan menggunakan multimeter sedangkan rapat daya dihitung dengan menggunakan persamaan 1 berikut:

$$P = \frac{V \cdot I}{A} \quad (1)$$

[Persamaan 1](#) adalah sebuah persamaan yang melibatkan rapat daya (P), tegangan (V), arus (I), dan luas elektroda (A) yang menunjukkan hubungan bahwa rapat daya adalah hasil kali antara tegangan dan arus, yang mencerminkan energi per unit waktu dalam sistem. Penambahan luas elektroda membantu memahami distribusi arus dan tegangan, penting dalam analisis efisiensi proses pada reaksi elektrokimia dan pemindahan energi.

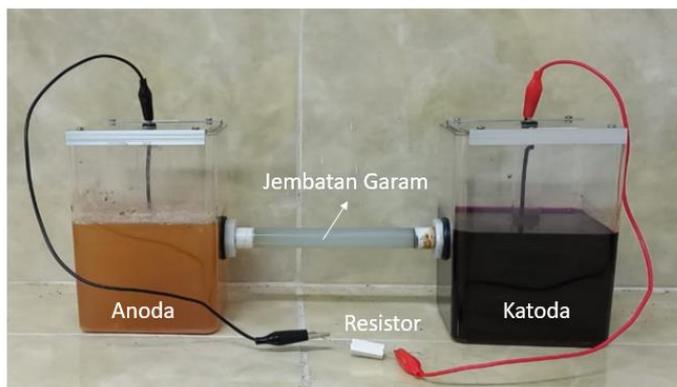
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### a. Hasil Perancangan Sistem MFC

#### 3.1 Hasil Penelitian

Sistem MFC yang dihasilkan dari penelitian ini merupakan tipe double-chamber. Sistem ini terdiri atas dua ruang, yaitu ruang anode dan ruang katode,

yang dihubungkan oleh jembatan garam, sesuai dengan yang diperlihatkan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2 Hasil Perancangan Sistem MFC

Ruang anode dan katode dibuat dari bahan tabung akrilik transparan untuk memudahkan pengamatan proses. Ruang anode berisi 100 ml larutan yang terbuat dari campuran cairan hasil rendaman kulit kakao, yeast (*Saccharomyces cerevisiae*), peptone, ammonium sulfat  $[(NH_4)_2SO_4]$ , dan potassium dihydrogen phosphate  $[(NH_4)_2SO_4]$  sedangkan ruang katode berisi 100 ml larutan  $KMnO_4$ . Jembatan garam terbuat dari pipa plastik transparan

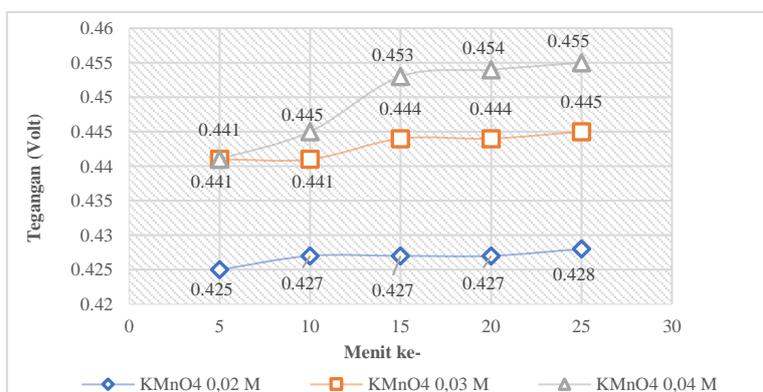
yang di dalamnya berisi campuran agar dan kalium klorida (KCl).

#### b. Hasil Pengujian Tegangan

Pengujian tegangan dilakukan secara berkala setiap 5 menit sekali dengan menggunakan multimeter untuk tiap masing-masing konsentrasi  $KMnO_4$ . Hasil pengukuran tegangan dihasilkan oleh MFC limbah kulit kakao dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 3.

Tabel 1 Hasil pengukuran tegangan untuk variasi konsentrasi  $KMnO_4$

Menit ke-	Tegangan (Volt)		
	$KMnO_4$ 0,02 M	$KMnO_4$ 0,03 M	$KMnO_4$ 0,04 M
5	0,425	0,441	0,441
10	0,427	0,441	0,445
15	0,427	0,444	0,453
20	0,427	0,444	0,454
25	0,428	0,445	0,455



Gambar 3 Nilai tegangan untuk setiap variasi konsentrasi  $KMnO_4$

Dari hasil pengujian tegangan yang dilakukan, diketahui bahwa peningkatan konsentrasi  $KMnO_4$  berpengaruh signifikan terhadap tegangan listrik

yang dihasilkan oleh sel bahan bakar mikrobiologis (MFC). Pada konsentrasi  $KMnO_4$  sebesar 0,02 M, tegangan yang dihasilkan relatif stabil dengan nilai

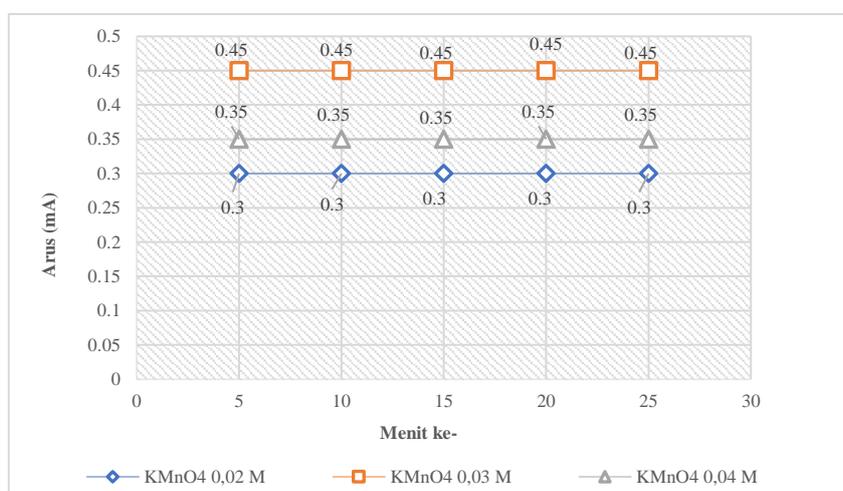
berkisar antara 0,425 hingga 0,428 V. Namun, ketika konsentrasi dinaikkan menjadi 0,03 M, tegangan mengalami peningkatan dengan nilai yang berkisar antara 0,441 hingga 0,445 V. Terlebih lagi, pada konsentrasi 0,04 M, tegangan semakin meningkat, mencapai nilai sekitar 0,441 hingga 0,455 V, menunjukkan hubungan positif antara konsentrasi  $KMnO_4$  dan tegangan listrik.

**c. Hasil Pengujian Arus**

Pada penelitian ini juga dilakukan pengukuran arus yang dihasilkan oleh MFC untuk masing-masing konsentrasi  $KMnO_4$  dengan hasil seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2** dan **Gambar 4**. Pengujian tegangan dilakukan secara berkala setiap 5 menit sekali dengan menggunakan multimeter.

**Tabel 2** Hasil Pengukuran arus untuk variasi konsentrasi  $KMnO_4$

Menit ke-	Arus (mA)		
	$KMnO_4$ 0,02 M	$KMnO_4$ 0,03 M	$KMnO_4$ 0,04 M
5	0,30	0,45	0,35
10	0,30	0,45	0,35
15	0,30	0,45	0,35
20	0,30	0,45	0,35
25	0,30	0,45	0,35



**Gambar 4** Nilai arus untuk setiap variasi konsentrasi  $KMnO_4$

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa arus yang dihasilkan oleh MFC pada tiap variasi konsentrasi  $KMnO_4$  cenderung stabil selama durasi pengamatan. Pada konsentrasi  $KMnO_4$  sebesar 0,02 M, arus yang dihasilkan adalah sebesar 0,3 mA. Pada konsentrasi 0,03 M, arus yang dihasilkan lebih tinggi, yaitu sebesar 0,45 mA. Sementara itu, pada konsentrasi 0,04 M, arus yang dihasilkan adalah sebesar 0,35 mA.

**d. Hasil Pengujian Rapat Daya**

Hasil pengukuran tegangan dan arus yang diperoleh dari sel microbial fuel cell (MFC) selanjutnya dipakai untuk menghitung rapat daya listrik yang dihasilkan. Perhitungan ini dilakukan menggunakan Persamaan 1, dan hasil yang diperoleh diintegrasikan dan disajikan secara sistematis dalam **Tabel 3** untuk analisis lebih lanjut.

**Tabel 3** Hasil Pengukuran Rapat Daya Untuk Variasi Konsentrasi  $KMnO_4$

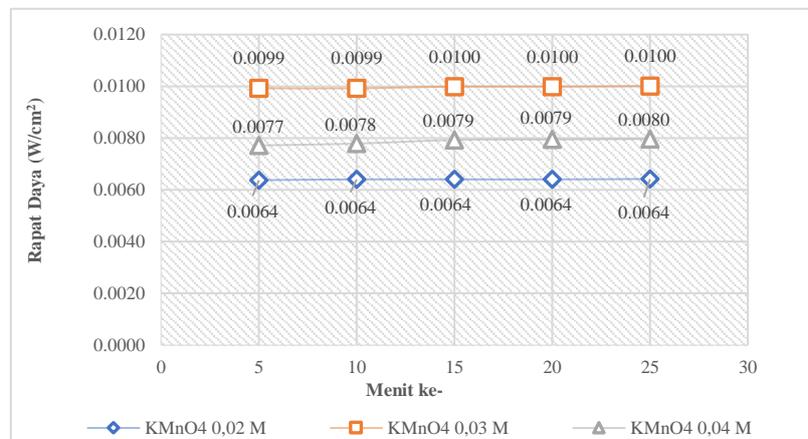
Menit ke-	Rapat Daya ( $W/cm^2$ )		
	$KMnO_4$ 0,02 M	$KMnO_4$ 0,03 M	$KMnO_4$ 0,04 M
5	0,0064	0,0099	0,0077
10	0,0064	0,0099	0,0078
15	0,0064	0,0100	0,0079
20	0,0064	0,0100	0,0079
25	0,0064	0,0100	0,0080

Berdasarkan hasil pengukuran rapat daya untuk tiap variasi konsentrasi  $KMnO_4$ , terlihat bahwa konsentrasi larutan pada ruang katode mempengaruhi bioelektrisitas MFC limbah kulit

kakao. Pada konsentrasi  $KMnO_4$  0,02 M, nilai rapat daya cenderung stabil pada 0,0064  $W/m^2$  selama waktu pengujian dari menit ke-5 hingga menit ke-25. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa

meskipun kestabilan terjaga, bioelektrisitas yang dihasilkan berada pada tingkat terendah jika dibandingkan dengan konsentrasi lainnya. Pada konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  sebesar 0,03 M, rapat daya

yang diperoleh menunjukkan peningkatan yang signifikan, dimulai dari  $0,0099 \text{ W/cm}^2$  dan terus meningkat menjadi  $0,0100 \text{ W/cm}^2$  dalam rentang waktu dari menit ke-15 hingga menit ke-25.



Gambar 4 Nilai Rapat Daya untuk setiap Variasi Konsentrasi  $\text{KMnO}_4$

### 3.2 Pembahasan Hasil Penelitian

Dari hasil pengujian tegangan, diketahui bahwa peningkatan konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  menyebabkan peningkatan tegangan listrik yang dihasilkan oleh MFC. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  yang digunakan sebagai akseptor elektron di ruang katode, semakin besar pula potensi penerimaan elektron dari anode. Peningkatan konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  memberikan lebih banyak molekul oksidator yang dapat menerima elektron, sehingga mempercepat reaksi reduksi di katode dan meningkatkan efisiensi transfer elektron dalam sistem.

Hasil pengukuran arus menunjukkan bahwa konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  sebesar 0,03 M menghasilkan arus tertinggi dibandingkan konsentrasi lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi tersebut, keseimbangan antara ketersediaan molekul oksidator di katode dan kemampuan transfer elektron dari anode berada pada kondisi yang optimal. Sebaliknya, pada konsentrasi 0,02 M, jumlah molekul oksidator yang lebih sedikit membatasi penerimaan elektron, sehingga arus yang dihasilkan lebih rendah. Pada konsentrasi 0,04 M, meskipun jumlah oksidator meningkat, kemungkinan terjadi efek inhibisi atau penurunan efisiensi reaksi akibat faktor lain seperti ketidakseimbangan pH atau peningkatan resistansi internal sistem, yang menyebabkan arus tidak setinggi pada konsentrasi 0,03 M.

Sedangkan hasil pengukuran rapat daya menunjukkan bahwa konsentrasi optimal untuk menghasilkan rapat daya tertinggi pada penelitian

ini adalah pada  $\text{KMnO}_4$  0,03 M, sedangkan konsentrasi yang terlalu rendah (0,02 M) atau sedikit lebih tinggi (0,04 M) menghasilkan performa yang kurang maksimal. Hal ini bisa disebabkan oleh ketidakseimbangan kinetika reaksi oksidasi-reduksi dan difusi ion pada konsentrasi yang tidak optimal.

### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian bioelektrisitas Microbial Fuel Cell (MFC) menggunakan limbah kulit kakao sebagai substrat, dapat disimpulkan bahwa konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  pada ruang katode mempengaruhi kinerja sistem MFC. Tegangan, arus, dan rapat daya yang dihasilkan menunjukkan variasi yang konsisten terhadap perubahan konsentrasi  $\text{KMnO}_4$ . Tegangan tertinggi dicapai pada konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  0,04 M, dengan nilai maksimum mencapai 0,455 Volt pada menit ke-25. Di sisi lain, arus tertinggi dihasilkan oleh konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  0,03 M, stabil pada 0,45 Ampere sepanjang pengujian. Sementara itu, rapat daya tertinggi juga diperoleh pada  $\text{KMnO}_4$  0,03 M, dengan nilai maksimum sebesar  $0,0100 \text{ W/m}^2$ . Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi  $\text{KMnO}_4$  dalam ruang katode dapat meningkatkan reaksi reduksi oksigen, sehingga memperbaiki kinerja bioelektrisitas MFC hingga batas optimal tertentu. Namun, setelah konsentrasi tertentu, peningkatan konsentrasi tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan kinerja, seperti terlihat pada  $\text{KMnO}_4$  0,04 M yang memiliki tegangan lebih tinggi tetapi arus dan rapat daya sedikit lebih rendah dibandingkan 0,03 M. Oleh karena itu, konsentrasi

KMnO<sub>4</sub> 0,03 M dianggap sebagai kondisi optimal untuk menghasilkan bioelektrisitas pada sistem MFC ini.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kami sampaikan kepada Lembaga Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Muhammadiyah Jember atas dukungan berupa pendanaan yang telah diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Harimbawa, "Persistensi Bahan Bakar Fosil: Analisis Path Dependence dalam Bauran Konsumsi-Energi Indonesia Periode 1980–2015," *Jurnal Kebijakan Ekonomi*, vol. 11, no. 2, p. 5, 2016. [Online]. Available: <https://scholarhub.ui.ac.id/jke/vol11/iss2/5/>.
- [2] F. D. Romadhon and R. Subekti, "Analisis Pengaturan Energi Terbarukan Dalam Kendaraan Berbasis Elektrik Untuk Mendukung Perlindungan Lingkungan (Analisis Komparatif Antara Indonesia, Brazil, Dan Pakistan)," *Jurnal Pacta Sunt Servanda*, vol. 4, no. 1, pp. 177-190, 2023. [Online]. Available: <https://ejournal2.undiksha.ac.id/index.php/JPSS/article/view/2049>.
- [3] A. Santoso, N. Suwedi, R. A. Pratama, and J. P. Susanto, "Energi terbarukan dan pengurangan emisi gas rumah kaca dari palm oil mill effluent," *Jurnal teknologi lingkungan*, vol. 18, no. 1, pp. 88-95, 2017. [Online]. Available: <https://www.academia.edu/download/102488820/1493.pdf>.
- [4] I. Wahyuni, H. Heriyono, A. Aisyah, M. Baharuddin, and I. I. Patunrengi, "Potensi Energi Listrik dari Microbial Fuel Cell (MFC) Menggunakan Substrat Molase dan Bakteri Pseudomonas sp," *ALCHEMY: Journal of Chemistry*, vol. 10, no. 1, pp. 8-13, 2022, doi: <https://doi.org/10.18860/al.v10i1.12154>.
- [5] B. Ibrahim and S. D. Hardiningtyas, "Kinerja Pembangkit Biolistrik Salt Bridge Mirrobal Fuel Cell Variasi Rasio Karagenan-Karboksimetil Selulosa," *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, vol. 25, no. 2, pp. 214-225, 2022, doi: <https://doi.org/10.17844/jphpi.v25i2.39872>.
- [6] F. A. Prayogo, A. Suprihadi, and B. Raharjo, "Microbial Fuel Cell (MFC) Menggunakan Bakteri Bacillus Subtilis dengan Substrat Limbah Septic Tank Serta Pengaruhnya Terhadap Kualitas Limbah," *Jurnal Akademika Biologi*, vol. 6, no. 2, pp. 17-25, 2017. [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/biologi/article/view/19530>.
- [7] U. Mardiana, "Microbial Fuel Cell Berbasis Yeast Saccharomyces cerevisiae," *Jurnal Kesehatan Bakti Tunas Husada: Jurnal Ilmu-ilmu Keperawatan, Analisis Kesehatan dan Farmasi*, vol. 14, no. 1, pp. 56-62, 2015.
- [8] S. Pramono and E. Rani, "Pengaruh Penambahan Bakteri Eschericia Colio157: H7 Terhadap Produksi Energi Listrik Pada Sel Bahan Bakar Urine," *Jurnal Neutrino: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 2014, doi: <https://doi.org/10.18860/neu.v0i0.2586>.
- [9] R. N. A. Sejati, Rasyidah, and R. A. Nasution, "Pemanfaatan Limbah Cair Tempe Denganpenambahan Lactobacillus Acidophilus Menggunakan Microbial Fuel Cell(Mfc) Menjadi Biolistrik," *Bio-Cons: Jurnal Biologi dan Konservasi* vol. 6, no. 1, pp. 278-287, 2024. [Online]. Available: <https://jurnal.unipar.ac.id/index.php/biocons/article/view/1808/1606>.
- [10] A. K. Dewi, G. Djajakirana, and D. A. Santosa, "Potensi Limbah Tahu untuk Menghasilkan Listrik pada Tiga Model Sistem Microbial Fuel Cell (MFC)," *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, vol. 22, no. 1, pp. 29-34, 2020, doi: <https://doi.org/10.29244/jitl.22.1.29-34>.
- [11] S. D. N. Aini, M. Marlinda, and W. Wahyudi, "Pengaruh Variasi Massa Limbah Kulit Pisang Terhadap Produksi Biolistrik Microbial Fuel Cell (MFC)," *Jurnal Inovasi Global*, vol. 2, no. 6, pp. 649-658, 2024, doi: <https://doi.org/10.58344/jig.v2i6.109>.
- [12] B. A. Nugraha and T. P. Sopandi, "Pengolahan Limbah Kulit Jeruk Sebagai Sumber Energi Terbarukan Di Desa Selorejo, Kabupaten Malang: Literature Review," *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, vol. 8, no. 1, 2022, doi: <https://dx.doi.org/10.20527/jukung.v8i1.12965>.
- [13] F. Fitriana, M. A. Auliq, F. Akbar, and Z. Mubarak, "Bioelectricity Of Cocoa Pod Waste As A Substrate In A Double Chamber Microbial Fuel Cell," *Jurnal Media Elektro*, pp. 93-99, 2023, doi: <https://doi.org/10.35508/jme.v12i2.12624>.
- [14] I. Muftiana, L. Suyati, and D. S. Widodo, "The Effect of KMnO<sub>4</sub> and K<sub>3</sub> [Fe (CN) <sub>6</sub>] Concentrations on Electrical Production in Fuel Cell Microbial System with Lactobacillus bulgaricus Bacteria in a Tofu Whey Substart," *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, vol. 21, no. 1, pp. 49-53, 2018. [Online]. Available:

- <https://pdfs.semanticscholar.org/b60f/da10a5061700e8ae5eb44b42643b2f358793.pdf>.
- [15] L. Utami, L. Lazulva, and Y. Fatisa, "Electricity production from peat water uses microbial fuel cells technology," *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 55-60, 2020. [Online]. Available: <https://www.neliti.com/publications/332682/electricity-production-from-peat-water-uses-microbial-fuel-cells-technology>.
- [16] R. Campos-Vega, K. H. Nieto-Figueroa, and B. D. Oomah, "Cocoa (*Theobroma cacao* L.) pod husk: Renewable source of bioactive compounds," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 81, pp. 172-184, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.022>.
- [17] N. Mufida and A. H. P. Yuniarto, "Pemanfaatan Limbah Tahu Untuk Menghasilkan Energi Listrik Dengan Sistem Mfc Menggunakan Bakteri *Lactobacillus Bulgaricus*," *Phydogic: Jurnal Fisika dan Pembelajarannya*, vol. 6, no. 2, pp. 80-85, 2024, doi: <http://orcid.org/0000-0002-8972-2186>.