

Mini Review: *Microbial Fuel Cell* Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan

Rizky Drajat Prabowo¹; Dewi Chusniasih^{2*)}

1. PLN Indonesia Power PLTGU Cilegon PGU, Jl. Suralaya No.21, Suralaya, Kec. Pulomerak, Kota Cilegon, Banten 42439, Indonesia
2. Program Studi Biologi, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35365, Indonesia

^{*)}Email: dewi.chusniasih@staff.itera.ac.id

ABSTRACT

Fossil fuels are a widely used energy source and support almost all aspects of energy. Fossil fuels include fuels that cannot be used sustainably, because fossil fuels can be obtained over a long period of time. Electrical energy can be produced by Microbial Fuel Cells (MFC) by utilizing substrates made from organic and inorganic components, using microbial cells as a catalyst. The structure of MFC consists of microbial cells in the anode, mediator and electrode parts which are separate from the cathode part. In addition to the electron receiving element, the cathode compartment is equipped with electrodes. There is a circuit that connects the anode and cathode and the electrons will move through the microbial cell to the cathode electron receiver. MFCs can use a variety of substrates, including wastewater. The use of sugar as a substrate for MFC using mold cells can produce a maximum energy of 374.4 mW/m². In the future, MFC is very likely to be used as the most sustainable source of electrical energy. Under controlled conditions, the electrical energy produced by the MFC is more effective compared to batteries that need to be recharged beforehand.

Keywords: *Microbial fuel cell, electrical energy, sustainable*

ABSTRAK

Bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang banyak digunakan dan mendukung hampir semua aspek energi. Bahan bakar fosil termasuk bahan bakar yang tidak dapat digunakan secara berkelanjutan, karena bahan bakar fosil dapat diperoleh dalam waktu yang cukup lama. Energi listrik dapat dihasilkan oleh Microbial Fuel Cell (MFC) dengan memanfaatkan substrat dari komponen organik maupun anorganik, menggunakan sel mikroba sebagai katalis. Struktur dari MFC tersusun atas sel mikroba di dalam bagian anoda, mediator, dan elektroda yang terpisah dari bagian katoda. Selain elemen penerima elektron, kompartemen katoda dilengkapi oleh elektroda. Terdapat sirkuit yang menghubungkan anoda dan katoda dan elektron akan bergerak melewati sel mikroba ke penerima elektron katoda. MFC dapat menggunakan substrat yang bervariasi, termasuk air limbah. Penggunaan gula sebagai substrat MFC yang menggunakan sel kapang dapat menghasilkan energi maksimum sebesar 374.4 mW/m². Di masa depan, MFC sangat mungkin digunakan sebagai sumber energi listrik yang paling sustainable. Dalam kondisi terkontrol, energi listrik yang diproduksi oleh MFC lebih efektif dibandingkan dengan baterai yang perlu diisi ulang sebelumnya.

Kata kunci: *Microbial fuel cell, energi listrik, berkelanjutan*

1. PENDAHULUAN

Bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang paling banyak digunakan oleh manusia. Sumber energi berupa bahan fosil seperti gas alam, batu bara, dan minyak bumi dibentuk dari sisa tubuh tumbuhan dan hewan yang telah dikompresi dan dipanaskan dalam waktu jutaan tahun pada lapisan sedimen bumi dan batuan [1]. Bahan bakar fosil termasuk salah satu bentuk energi yang digunakan dalam skala besar dan mendukung hampir semua aspek yang membutuhkan energi, seperti kendaraan, elektronik, hingga kehidupan rumah tangga. Di sisi lain, bahan bakar fosil termasuk bahan bakar yang tidak berkelanjutan, karena sifatnya yang tidak dapat diperbarui. Hal ini disebabkan karena bahan bakar fosil hanya dapat dibentuk dalam waktu yang sangat lama, hingga jutaan tahun lamanya. Hal ini memungkinkan akan ada masa ketika bahan bakar fosil menipis dan manusia membutuhkan bahan bakar alternatif yang lebih mudah untuk diperbanyak dalam waktu singkat [2].

Mikroorganisme diketahui dapat menghasilkan energi listrik sejak tahun 1911 [3]. Penggunaan mikroorganisme sebagai sumber penghasil listrik menjadi salah satu alternatif dalam eksplorasi energi bahan alam, dan memungkinkan mikroorganisme menjadi salah satu sumber energi listrik terbaru dan berkelanjutan. Kultur mikroba dapat dilakukan dengan media pertumbuhan yang sesuai, dan pertumbuhan mikroba hanya membutuhkan waktu hitungan jam. Saat ini, energi listrik berbasis mikroba dapat dilakukan dengan *Microbial Fuel Cell* (MFC). MFC dapat menghasilkan energi listrik menggunakan substrat dari komponen organik maupun anorganik, menggunakan sel mikroba sebagai katalis [4]. MFC dapat menggunakan bahan organik sebagai substrat, seperti air limbah. Hal ini membuat MFC menjadi alternatif bahan bakar *eco-friendly* dan berkelanjutan. MFC secara struktur terdiri atas dua kompartemen yaitu katoda (elektroda) dan anoda, dan dipartisi dengan lapisan membran sebagai media transfer proton [5]. Sisi anoda diisi dengan sel mikroorganisme elektrokimia aktif, dan katoda berisi lingkungan abiotik. Penulisan artikel ini ditujukan untuk merangkum informasi mengenai sumber energi listrik terbarukan berupa sel mikroba.

2. METODE PENELITIAN

Artikel ini disusun dengan metode review. Proses penyusunan informasi dilakukan dengan menggunakan informasi yang berasal dari internet menggunakan kata kunci "*Microbial electricity*", "*Microbial Fuel Cell*", "*microbe potential on renewable energy electric*". Sumber data yang digunakan bersifat data primer yang diperoleh berupa jurnal nasional dan internasional. Jurnal-jurnal yang diperoleh kemudian diseleksi berdasarkan kesesuaiannya dengan tujuan penulisan artikel ini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

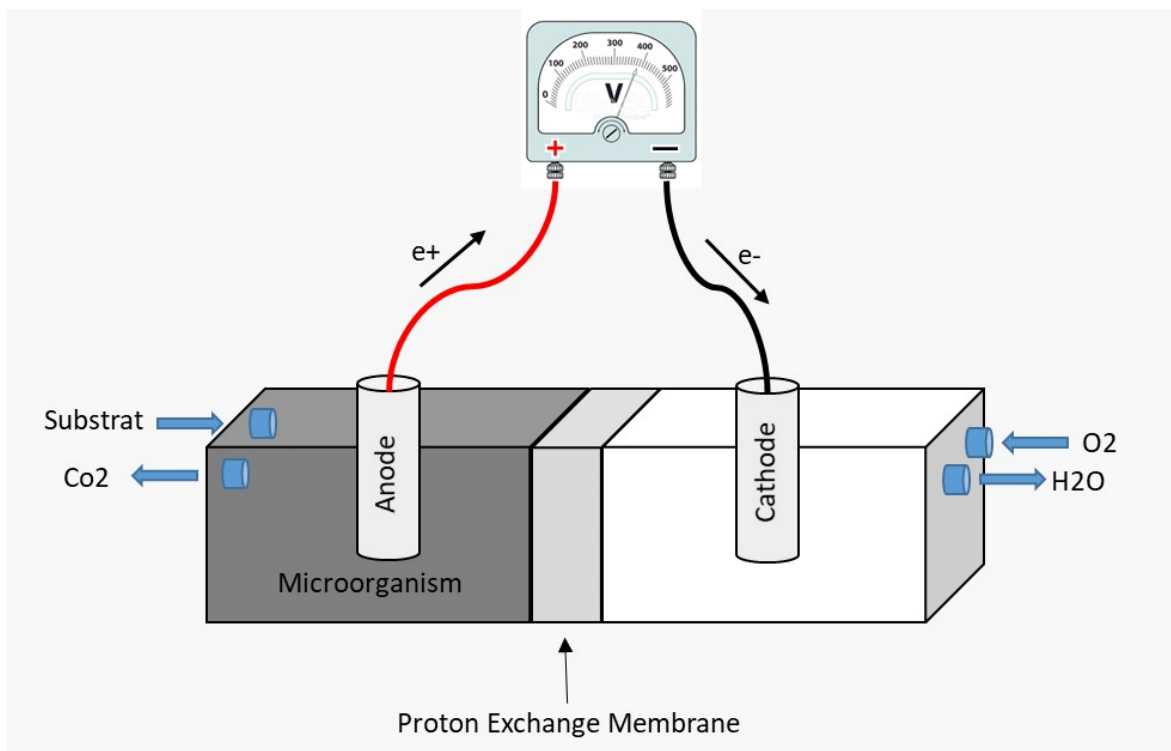
Pada *Microbial Fuel Cell* (MFC), mikroorganisme berperan sebagai biokatalis yang akan mendegradasi material organik pada medium untuk memproduksi elektron. Elektron ini akan berpindah ke sisi kompartemen katoda melalui sirkuit elektrik. Mikroba yang dapat menghasilkan energi listrik ini disebut sebagai eksoelektrogen [5]. Elektron akan berpindah melewati sirkuit hingga ke katoda, dan ion hidrogen dari katoda akan bereaksi dengan oksigen menghasilkan air pada internal sirkuit [6]. Terdapat banyak jenis mikroba yang berpotensi menghasilkan energi listrik melalui MFC, diantaranya *Shewanella oneidensis* dan *Geobacter sulfurreducens* [7].

3.1. Desain MFC

Microbial fuel cell adalah instalasi yang dapat mengkatalisis perubahan energi biokimia menjadi energi listrik dengan memanfaatkan kemampuan katalitik sel mikroba. Instalasi MFC bekerja dengan mengkonversikan energi kimia menjadi energi listrik dengan memanfaatkan aktivitas

metabolisme mikroba (Gambar 1). MFC dapat dibuat dengan memanfaatkan sel bakteri ataupun kapang sebagai katalis. Struktur dari MFC tersusun atas kompartemen anoda yang dapat diisi oleh sejumlah sel mikroba, mediator, dilengkapi oleh elektroda yang terpisah dari kompartemen katoda. Kompartemen katoda terdiri atas elektroda dan penerima elektron (elektron akseptor). Anoda dan katoda terhubung via sirkuit dan aliran elektron dari sel mikroba ke penerima elektron katoda [1].

Instalasi MFC dapat dibuat dengan desain *single chamber* dan *two chamber*. Pada instalasi *single chamber*, mikroorganisme yang diinokulasi pada media akan mengoksidasi substrat organik pada kompartemen anoda yang berada dalam kondisi anaerobik. Proton dan elektron akan diproduksi dalam proses oksidasi ini. Elektron akan ditransfer melewati sirkuit eksternal menuju kompartemen katoda. Pada kompartemen katoda, elektron, proton, dan penerima elektron (oksigen) dikombinasikan dan menghasilkan air [8]. Pada MFC *single chamber*, katoda diletakkan secara terbuka. Pada instalasi MFC *two chamber*, kompartemen anoda dan katoda dipisahkan oleh membran selektif ion. Membran ini dapat dilewati oleh proton dari anoda ke katoda, serta mencegah difusi oksigen ke kompartemen anoda.



Gambar 1. Desain sederhana *Microbial Fuel Cell* (MFC)

3.2. Substrat mikroba untuk sistem MFC

Pada dasarnya, sistem MFC membutuhkan substrat yang mengandung gula dan asam organik sebagai bahan bakar metabolisme sel mikroba [9]. Penggunaan gula sebagai substrat MFC yang menggunakan sel kapang dapat menghasilkan energi maksimum sebesar 374.4 mW/m^2 [10]. Di sisi lain, glukosa merupakan substrat utama yang dibutuhkan sel untuk dikonsumsi selama proses metabolisme. Sehingga, penggunaan substrat glukosa dapat menghasilkan efisiensi coulomb yang rendah karena banyak dikonsumsi untuk aktivitas fermentasi sel mikroba [5].

Penggunaan substrat yang bervariasi akan menghasilkan produk berupa energi listrik dengan jumlah yang berbeda. MFC dengan substrat xilosa dapat menghasilkan energi sebesar 333 mW/m^2 pada penelitian Haavisto et al., [11]. Penggunaan mikroba dalam bentuk konsorsium atau gabungan

antara beberapa jenis mikroba juga akan menghasilkan energi yang berbeda. Penggunaan *Klebsiella pneumoniae* dan *Shewanella oneidensis* dalam bentuk konsorsium pada substrat xiloda dan glukosa dapat menghasilkan energi listrik sebesar 104.7 mW/m^2 [9]. Dalam kondisi aerobik, gula yang dikonsumsi mikroba dalam MFC akan menghasilkan karbondioksida dan air. Pada kondisi anaerobik, produk yang dihasilkan meliputi karbondioksida, ion hidrogen, dan elektron. Substrat yang digunakan pada MFC berperan sebagai elektron donor ataupun akseptor. Media atau substrat yang dapat digunakan dalam MFC disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Substrat yang dapat digunakan untuk MFC [12]

Kompartemen	Donor/akseptor elektron
Anoda	Asetat
	Glukosa
	Butirat
	Gliserol
	Malat
	Sitrat
	Sulfur
Katoda	Biokarbonat
	Asetat
	Nitrat
	Nitrit
	Permanganat
	Mangan dioksida
Besi	

Asetat merupakan salah satu substrat yang paling efektif. Berdasarkan [9] asetat dapat dikombinasikan dengan polutan untuk meningkatkan kemampuan MFC dalam menghasilkan listrik, sekaligus mendegradasi bahan pencemar lingkungan. Mancilio *et al* [13] melaporkan penggunaan asetat sebagai substrat kombinasi dapat menghasilkan energi sebesar 398 mW/m^2 sekaligus mendegradasi *p-coumaric* sebesar 79%.

Di masa depan, MFC sangat mungkin digunakan sebagai sumber energi listrik yang paling sustainable. Dalam kondisi terkontrol, energi listrik yang dihasilkan oleh MFC dapat bersifat lebih efektif dibandingkan dengan baterai yang perlu diisi ulang sebelumnya, dan berdampak pada isu lingkungan akibat limbah baterainya [7]. Selain itu, MFC juga dapat digunakan sebagai bioindikator atau biosensor. Ketika MFC dibuat dalam sistem terbuka pada kompartemen anoda, akan ada perubahan potensial listrik yang dihasilkan ketika terdapat senyawa toksikan atau bahan pencemar masuk ke MFC. Hal ini memungkinkan MFC digunakan sebagai indikator adanya bahan pencemar di sungai atau perairan [14].

4. KESIMPULAN

Microbial fuel cell merupakan suatu instalasi yang dapat menjadi media terobosan baru dalam menghasilkan energi listrik dari energi biokimia dengan memanfaatkan metabolisme mikroba. Desain MFC terdiri atas kompartemen anoda, katoda, sirkuit eksternal, dan membran proton. MFC dapat menggunakan substrat yang bervariasi, termasuk air limbah. Hal ini membuat MFC berpotensi sebagai alternatif energi listrik terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Sharma and P. P. Kundu, "Biocatalysts in microbial fuel cells," *Enzyme Microb. Technol.*, vol. 47, no. 5, pp. 179–188, 2010, doi: 10.1016/j.enzmictec.2010.07.001.
- [2] J. M. Sonawane, A. Yadav, P. C. Ghosh, and S. B. Adeloju, "Recent advances in the development and utilization of modern anode materials for high performance microbial fuel cells," *Biosens. Bioelectron.*, vol. 90, pp. 558–576, 2017, doi: 10.1016/j.bios.2016.10.014.
- [3] M. Potter, "Electrical effects accompanying the decomposition of organic compounds," *Proc. R. Soc. London. Ser. B, Contain. Pap. a Biol. Character*, vol. 84, no. 571, pp. 260–276, 1911, doi: 10.1098/rspb.1911.0073.
- [4] A. K. Marcus, C. I. Torres, and B. E. Rittmann, "Conduction-Based Modeling of the Biofilm Anode of a Microbial Fuel Cell," *Biotechnol. Bioeng.*, vol. 98, no. 6, pp. 1171–1182, 2007, doi: 10.1002/bit.
- [5] K. C. Oibileke, H. Onyeaka, E. L. Meyer, and N. Nwokolo, "Microbial fuel cells, a renewable energy technology for bio-electricity generation: A mini-review," *Electrochem. commun.*, vol. 125, p. 107003, 2021, doi: 10.1016/j.elecom.2021.107003.
- [6] D. Pant, G. Van Bogaert, L. Diels, and K. Vanbroekhoven, "A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production," *Bioresour. Technol.*, vol. 101, no. 6, pp. 1533–1543, 2010, doi: 10.1016/j.biortech.2009.10.017.
- [7] D. Lal, "Microbes to Generate Electricity," *Indian J. Microbiol.*, vol. 53, no. 1, pp. 120–122, 2013, doi: 10.1007/s12088-012-0343-2.
- [8] Z. Li, X. Zhang, Y. Zeng, and L. Lei, "Electricity production by an overflow-type wetted-wall microbial fuel cell," *Bioresour. Technol.*, vol. 100, no. 9, pp. 2551–2555, 2009, doi: 10.1016/j.biortech.2008.12.018.
- [9] J. Wang, K. Ren, Y. Zhu, J. Huang, and S. Liu, "A Review of Recent Advances in Microbial Fuel Cells: Preparation, Operation, and Application," *BioTech*, vol. 11, no. 4, 2022, doi: 10.3390/biotech11040044.
- [10] M. Christwardana, D. Frattini, G. Accardo, S. P. Yoon, and Y. Kwon, "Optimization of glucose concentration and glucose/yeast ratio in yeast microbial fuel cell using response surface methodology approach," *J. Power Sources*, vol. 402, no. June, pp. 402–412, 2018, doi: 10.1016/j.jpowsour.2018.09.068.
- [11] J. Haavisto *et al.*, "Effects of anode materials on electricity production from xylose and treatability of TMP wastewater in an up-flow microbial fuel cell," *Chem. Eng. J.*, vol. 372, no. April, pp. 141–150, 2019, doi: 10.1016/j.cej.2019.04.090.
- [12] N. Emalya, N. Malahayati, E. Munawar, W. Rinaldi, and Y. Yunardi, "A review of a sustainable bio-electricity generation from microbes grown in waste water," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 667, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/667/1/012087.
- [13] L. B. K. Mancilio *et al.*, "Adding value to lignocellulosic byproducts by using acetate and p-coumaric acid as substrate in a microbial fuel cell," *Ind. Crops Prod.*, vol. 171, no. July, p. 113844, 2021, doi: 10.1016/j.indcrop.2021.113844.
- [14] I. S. Chang *et al.*, "Continuous determination of biochemical oxygen demand using microbial fuel cell type biosensor," *Biosens. Bioelectron.*, vol. 19, no. 6, pp. 607–613, 2004, doi: 10.1016/S0956-5663(03)00272-0.