

# PEMANFAATAN SISTEM *MICROBIAL FUEL CELL* DALAM MENGHASILKAN LISTRIK PADA PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI PANGAN

Herlian E. Putra\*, Dani Permana, Agusta S. Putra, Djaenudin, Hari R. Haryadi

Pusat Penelitian Kimia Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia  
Kampus LIPI, Jl. Cisitu – Bandung 40135

\*Corresponding author. Telp: 022-2503240, E-mail: [herl007@lipi.go.id](mailto:herl007@lipi.go.id)

## ABSTRAK

*Microbial Fuel Cell* (MFC) dapat langsung menghasilkan listrik dari oksidasi bahan organik yang terkandung dalam suatu larutan. Dibutuhkan suatu optimalisasi sistem MFC yang mencakup beberapa faktor untuk meningkatkan hasil listrik seperti jenis media penukar kation, elektroda, luas permukaan elektroda, dan durasi reaksi. Penelitian dilakukan untuk melihat kinerja sistem MFC pada pengolahan air limbah industri pangan, dalam hal ini tahu dan cucian beras (catering), dengan menggunakan tembaga sebagai elektroda, membran Poli Eter Eter Keton Tersulfonasi (SPEEK) sebagai media penukar kation, dan menggunakan media substrat limbah. MFC diamati selama 80 jam. Pengukuran tegangan yang dihasilkan dilakukan setiap 4 jam. Tegangan maksimum yang dihasilkan pada media limbah tahu mencapai 80 mV (pada jam ke-28). Selama 52 jam berikutnya, tegangan sedikit menurun. Sedangkan pada air limbah cucian beras, tegangan maksimum terjadi pada jam ke-60 yaitu 234 mV. Selama proses 80 jam, melalui sistem MFC pada media limbah tahu, COD mampu turun 49,33% dari 6750 mg/L menjadi 3420 mg/L. Sedangkan pada limbah cucian beras, COD turun dari 18840 mg/L menjadi 10560 mg/L atau sebesar 43,95 % selama 80 jam.

**Kata Kunci:** *Microbial Fuel Cell*, listrik, limbah pangan

## ABSTRACT

*Microbial Fuel Cell* (MFC) can be directly generate electricity from the oxidation of organic material contained in a solution. An optimization of the MFC system that includes several factors related such as the type of cation-exchange system, electrodes, electrode surface area, and duration of the reaction should be done to increase electricity yield. The experiment was conducted in order to see the performance of the MFC system in the food industrial wastewater treatment by using copper as an electrode, Sulfonated Poli Ether Ether Ketone (SPEEK) as a cation-exchange system, and using wastewater as mixed substrate media. MFC system was observed for 80 hours. Measurement of voltages generated performed every 4 hours. The maximum voltage in tofu wastewater media reached 80 mV (at 28 h). Over the next 52h, the voltage slightly decreased. While the rice washing wastewater media, maximum voltage at 60 hours reached 234 mV. During the 80 hours of process, by using tofu wastewater as media, MFC system could decrease COD around 49,33% from 6750 mg/L to 3420 mg/L, while the rice washing wastewater, COD decreased from 17880 mg/L to 9480 mg/L or by 46%.

**Keywords:** *Microbial Fuel Cell*, electricity, food industrial wastewater

## PENDAHULUAN

Hangatnya isu terkait pengurangan emisi CO<sub>2</sub> telah mampu mengalihkan perhatian teknologi khususnya proses produksi energi dari energi konvensional/fosil ke energi yang berasal dari sumber yang dapat diperbaharui seperti biomassa. Hidrogen dan listrik dapat menjadi komponen penting dalam upaya penurunan emisi CO<sub>2</sub> jika kedua komponen tersebut dapat diproduksi dari sumber bukan fosil, seperti *fuel cell*. Gas hidrogen biasanya diproduksi secara biologis pada konsentrasi tinggi melalui fermentasi glukosa dan sukrosa<sup>(1)</sup> dengan sekitar 33% dari potensial energi maksimum yang bisa dihasilkan dari glukosa. Umumnya, energi yang dihasilkan ini diperoleh dari fermentasi lanjutan dari beberapa asam organik dan pelarut seperti asam asetat, butirat, dan propionat, etanol serta butanol<sup>(2,3)</sup>.

Tidak hanya hidrogen, sekarang diketahui bahwa listrik juga dapat diproduksi secara langsung dari degradasi bahan organik seperti glukosa dan asetat<sup>(4,11)</sup>, dari limbah cair domestik<sup>(5,13)</sup>, bahkan dari sedimen laut<sup>(14)</sup> dalam suatu *Microbial Fuel Cell* (MFC)<sup>(4,5,6,7,8)</sup>. Sistem MFC umumnya terdiri dari dua ruangan, anoda dan katoda. Pada katoda, berlangsung reaksi biokimiawi secara aerob, dimana proton yang dihasilkan pada anoda dengan oksigen akan membentuk air. Pada anoda biasanya reaksi berlangsung secara anaerob, di mana substrat dioksidasi oleh mikroba sehingga menghasilkan elektron sebagai listrik dan proton yang dipindahkan ke katoda melalui media penukar proton, seperti membran dan jembatan garam<sup>(9,10)</sup>. Sistem MFC cukup potensial digunakan untuk menghasilkan energi dari limbah organik<sup>(11,12)</sup>.

Belum banyak pemanfaatan sistem MFC dengan substrat limbah cair proses pangan untuk menghasilkan listrik dan hidrogen.<sup>(15)</sup> Dalam penelitian ini, kami mencoba untuk menguji kinerja sistem MFC yang menggunakan limbah cair industri pangan, yaitu air limbah industri tahu dan air cucian beras (katering) sebagai substrat, di samping penggunaan elektroda tembaga, serta Poli Eter Eter Keton Tersulfonasi (SPEEK) sebagai media penukar kation. Umumnya MFC menggunakan membran Nafion, penggunaan SPEEK sebagai media penukar kation pada sistem MFC merupakan suatu hal yang baru. Di samping harga yang murah jika dibandingkan Nafion<sup>TM</sup>, PEEK merupakan konduktor ionik yang baik.<sup>(16)</sup>

## BAHAN DAN METODA

### Bahan

Bahan yang digunakan adalah limbah cair tahu dan limbah cair cucian beras (catering), sedangkan bahan kimia yang digunakan adalah kalium dikromat, asam sulfat, perak sulfat, indikator feroin, akuades, kalium permanganat, membran Poli Eter Eter Keton Tersulfonasi (SPEEK) dan ferri amonium sulfat. Semua bahan kimia yang digunakan adalah produk E-Merck.

### Peralatan

Peralatan yang digunakan adalah reaktor MFC yang terdiri atas ruang anoda dan katoda dan dipisahkan oleh membran SPEEK<sup>(16,17)</sup>. Reaktor MFC dirangkai seperti Gambar 1. Peralatan lainnya yaitu *digital multimeter* (Sanwa 510a *PC link*), buret, oven (Mettler), inkubator (B. Braun Biotech International, Certomat BS-1), elektroda tembaga (Cu), serta peralatan gelas lainnya.



**Gambar 1.** Reaktor Sistem *Microbial Fuel Cell*

### Metoda

#### Persiapan Sampel

Sampel diperoleh langsung dari buangan proses pembuatan tahu rakyat dan industri catering rumahan di wilayah Padalarang, Bandung Barat. Air limbah ditampung dan dimasukkan ke dalam botol plastik steril berukuran 1 L. Sterilisasi dilakukan dengan memasukan alkohol 70 % sebanyak 1/3 volume botol plastik agar botol tidak membawa kontaminan saat pengambilan sampel limbah cair. Pada saat pengambilan sampel limbah cair, botol yang berisi alkohol 70 % dikocok kemudian alkohol dibuang. Selanjutnya botol plastik

steril tersebut dicelupkan ke dalam wadah penampungan limbah cair. Sebelum dianalisis, sampel tersebut disimpan pada lemari pendingin pada suhu 4°C. Sampel limbah ini langsung digunakan sebagai inokulum mikroba dan juga media pertumbuhan. Hal ini dimaksudkan agar lebih menyerupai kondisi limbah di lapangan.

### **Persiapan Proses MFC**

Sebelum memulai proses MFC pada anoda (anolit) pada sistem bejana seri ini diisi limbah sedangkan larutan kalium permanganat ditempatkan di katoda (katolit). Larutan permanganat yang digunakan pada penelitian ini memiliki konsentrasi sebesar 10 mM yang dikondisikan dalam suasana asam, yaitu berada pada rentang pH di antara 3 dan 4.

Elektroda tembaga (Cu) yang digunakan adalah lempengan tembaga dengan dimensi 4 × 5 cm yang disesuaikan dengan diameter reaktor. Elektroda Cu digunakan dengan pertimbangan harga yang relatif rendah dibandingkan dengan elektroda platina dan karbon, namun, tetap dapat memberikan performa yang baik untuk kinerja MFC, konduktif, dan secara kimia stabil di dalam larutan reaktor.

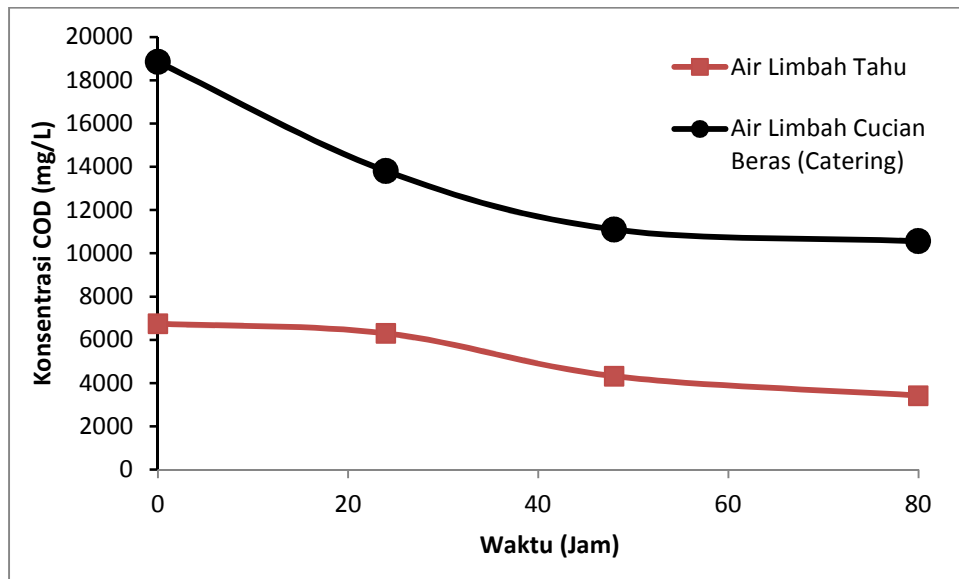
### **Analisis**

Sistem MFC dijalankan selama 80 jam untuk melihat kinerja sistem terkait besarnya listrik yang dihasilkan. Data sampling listrik (voltase) yang dihasilkan diamati setiap 4 jam dengan menggunakan dengan menggunakan *digital multimeter*. Pencuplikan untuk analisis COD dilakukan setiap 24 jam. Analisis COD dilakukan dengan metode refluks tertutup secara titrimetri (SNI 6989.73: 2009). Selama proses berlangsung, tidak dilakukan penambahan substrat baru sebagai nutrisi mikroba, sehingga data listrik yang diperoleh hanya berasal dari substrat yang diinginkan, yaitu air limbah itu sendiri.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### ***Penurunan kadar COD pada limbah menggunakan sistem MFC***

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, efisiensi penurunan COD tertinggi terjadi setelah proses MFC dilakukan selama 80 jam (Gambar 2). Pada media limbah tahu kadar COD turun 49,33% yaitu dari 6750 mg/L menjadi 3420 mg/L, sedangkan pada limbah cucian beras, COD turun dari 18840mg/L menjadi 10560 mg/L atau sebesar 43,95 %. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu reaksi maka semakin besar kemampuan mikroba untuk mendegradasi zat organik pada limbah.

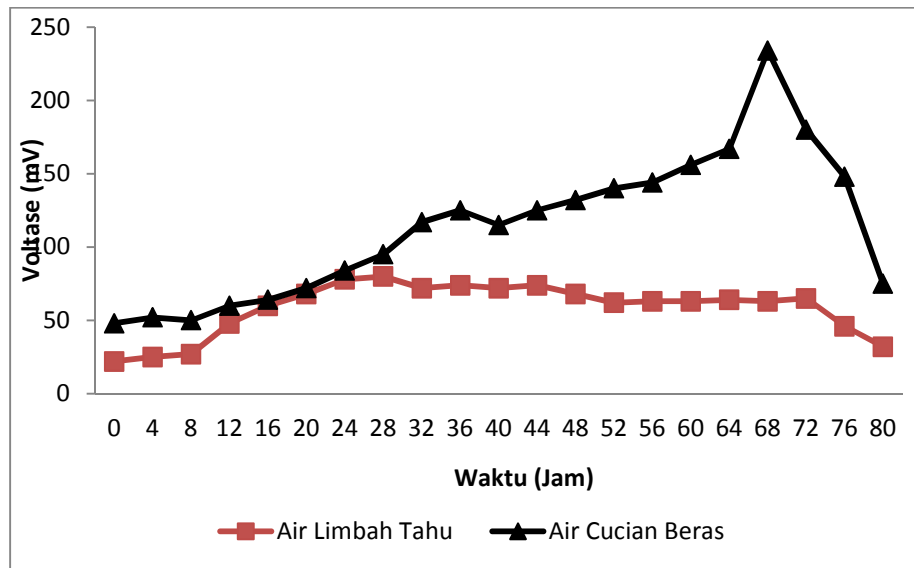


**Gambar 2.** Penurunan Kadar COD

Menurut Logan *dkk* nilai COD pada air limbah setelah pengolahan dengan MFC dapat berkurang hingga 80% <sup>(12)</sup>. Dari hasil yang diperoleh ternyata penurunan COD belum seluruhnya sempurna. Hal ini mungkin disebabkan oleh air limbah yang digunakan mempunyai senyawa organik yang tidak seluruhnya terurai sempurna. Khusus limbah cucian beras, pada umumnya mikroba membutuhkan waktu yang cukup panjang dalam memecah senyawa organik yang kompleks, di antaranya pati<sup>(18)</sup>.

### ***Voltase listrik yang dihasilkan pada sistem MFC menggunakan membran PEEK***

Pengukuran elektrisitas pada air limbah industri tahu dan air limbah cucian beras dilakukan tiap 4 jam selama proses MFC berlangsung dalam kurun waktu 80 jam. Pengukuran awal voltase pada saat sistem baru terpasang adalah 22 mV dan 49 mV untuk masing-masing limbah tahu dan beras. Namun selama proses berlangsung, pada 8 jam pertama, nilai voltase yang dihasilkan tampak fluktuatif. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan potensial dari kedua elektroda, termasuk adanya perbedaan komponen secara kimia dan biologi pada masing-masing elektroda<sup>19</sup>. Dari hasil yang didapat menunjukkan nilai tertinggi voltase yang dihasilkan dari air limbah tahu yaitu pada proses 28 jam, adalah 80 mV (Gambar 3). Pada saat ini, mikroba telah beradaptasi dengan sistem MFC sehingga pertumbuhan mikroba cenderung naik berikutan listrik yang diproduksi. Namun, pada jam berikutnya nilai listrik yang dihasilkan mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena tidak adanya nutrisi tambahan, sehingga menyebabkan pertumbuhan mikroba memasuki fase kematian.



**Gambar 3.** Produksi listrik yang dihasilkan sistem MFC

Perbedaan yang signifikan ditampilkan pada air limbah cucian beras, tegangan maksimum terjadi pada jam ke-60 yaitu 234 mV. Lambatnya kenaikan voltase listrik yang dihasilkan ini dikarenakan mikroba membutuhkan waktu dalam hal mendegradasi senyawa-senyawa kompleks, di antaranya pati yang banyak terdapat pada air sisa proses pencucian beras<sup>(18)</sup>. Nilai ini cenderung sama jika dibandingkan listrik yang dihasilkan dari sistem MFC yang menggunakan limbah sisa proses makanan sebagai substrat serta sumber inokulum murni, elektroda karbon dan membran penukar proton komersial Nafion<sup>TM</sup> sebagai elektroda dan media penukar kationnya yaitu sebesar 0,29 V<sup>(20)</sup>. Voltase maksimal yang didapat ini 10x lebih besar jika dibandingkan dengan voltase yang dihasilkan oleh mikroba *G. Metallireducens* pada sistem MFC dengan jembatan garam dengan media substrat murni<sup>(21)</sup>.

Nafion<sup>TM</sup> (Dupont, Wilmington, Delaware) merupakan media penukar kation yang cukup banyak diaplikasikan pada MFC. Walaupun harganya mahal dan mudah rusak, media ini diminati karena sangat selektif terhadap proton. Namun, pada percobaan kali ini, penggunaan membran PEEK sebagai media penukar kation cukup memberikan pengaruh yang signifikan. Ini tidak terlepas dari fungsi media penukar kation sendiri memiliki hambatan internal, sehingga mempengaruhi produktivitas listrik<sup>(16)</sup>.

## KESIMPULAN

Kinerja sistem MFC dengan menggunakan tembaga sebagai elektroda, membran PEEK sebagai sistem penukar kation, dan menggunakan media substrat campuran (inokulum limbah) telah dilakukan. Pengukuran kuat arus dan voltase yang dihasilkan dilakukan tiap 4 jam. Selama 80 jam berjalan, nilai voltase listrik terbesar dihasilkan pada media air limbah cucian beras yaitu 0,23 V, pada saat proses berjalan 60 jam. Nilai ini cenderung sama jika dibandingkan listrik yang dihasilkan dari sistem MFC yang menggunakan limbah sisa proses makanan sebagai substrat serta sumber inokulum, karbon dan Nafion<sup>TM</sup> sebagai elektroda dan media penukar kationnya yaitu sebesar 0,29 V<sup>(20)</sup> serta lebih tinggi hingga 10x lebih besar jika dibandingkan dengan voltase yang dihasilkan oleh mikroba *G. Metallireducens* pada sistem MFC dengan jembatan garam<sup>(21)</sup>.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Mahyar Ependi yang telah membantu dalam proses pengukuran dan analisa.

## DAFTAR PUSTAKA

1. S. Van Ginkel, S. Sung, J. Lay. *Biohydrogen production as a function of pH and substrate*. **Environ. Sci. Technology**. 35, 4726-4730. (2001)
2. C. P. L. Grady Jr, G. T. Daigger, H. C. Lim. *Biological wastewater treatment*, second edition. **Marcel Dekker**, New York. (1999)
3. B. E. Logan, S. E. Oh, I. S. Kim, S. Van Ginkel. *Biological hydrogen production measured in batch anaerobic respirometers*. **Environ. Sci. Technology**. 36. 2530-2535. (2002)
4. S. E. Oh, B. Min, B. E. Logan. *Cathode performance as a factor in electricity generation in microbial fuel cells*. **Environ. Sci. Technology**. 38. 4900-4904. (2004)
5. H. Liu, R. Ramnarayanan, B. E. Logan. *Production of electricity during wastewater treatment using a single chamber microbial fuel cell*. **Environ. Sci. Technology**. 38. 2281-2285. (2004)
6. H. Liu, B. E. Logan. *Electricity generation using an air-cathode single chamber microbial fuel cell in the presence and absence of a proton exchange membrane*. **Environ. Sci. Technology**. 38. 4040-4046. (2004)
7. S. Suzuki, I. Karube, T. Matsunaga. *Application of a biochemical fuel cell to wastewater*. **Biotechnology**. 8. 501-511. (1978)

8. R. M., Allen, H. P., Bennetto. *Microbial Fuel-Cells: electricity production from carbohydrates*. **Biotechnology**. 39/40. 27-40. (1993)
9. G. M. Delaney, H. P. Bennetto, J. R. Mason, S. D. Roller, J. L. Stirling, C. F. Thurston. *Electron transfer coupling in microbial fuel cells. II. Performance of fuel cells containing selected microorganism-mediator combinations*. **Journal. Chem. Technol. Biotechnol.** 34B. 13-27. (1984)
10. D. Siebel, H. P. Bennetto, G. M. Delaney, J. R. Mason, J. L. Stirling, C. F. Thurston. *Electron transfer coupling in microbial fuel cells. I. Comparison of redox-mediator reduction rates and respiratory rates of bacteria*. **Journal. Chem. Technol. Biotechnol.** 34B. 3-12. (1984)
11. D. R. Bond, D. R. Lovely. *Electricity production by *Geobacter sulfurreducens* attached to electrodes*. **App. Environ. Microbiology**. 69. 1548-1555. (2003)
12. B. E. Logan. *Feature article: biologically extracting energy from wastewater: biohydrogen and microbial fuel cells*. **Environ. Sci. Technology**. 38(9). 160A-167A. (2004)
13. B. Min, B. E. Logan. *Continous electricity generation from domestic wastewater and organic substrates in a flat plate microbial fuel cell*. **Environ. Sci. Technology**. 38(21). 5809-5814. (2004)
14. D. R. Bond, D. E. Holmes, L. M. Tender, D. R. Lovely. *Electrode-reducing microorganisms that harvest energy from marine sediments*. **Science**. 295. 483-485. (2002)
15. H. J. Kim, M. S. Hyun, I. S. Chang, B. H. Kim. *A microbial fuel cell type lactate biosensor using a metal reducing bacterium, *Shewanella putrefaciens**. **Microbiology. Biothcnology**. 9. 365-367. (1999)
16. V. Neburchilov, J. Martin, H. Wang, J. Zhang. *Review of Polymer Electrolyte Membranes for Direct Methanol Fuel Cells*. **J. Power Sources**. 169: 221-238. (2007)
17. S. Handayani, L.D. Eniya, S. Hartanto, W.P. Widodo, W.S. Roekmijati. *Increasing Ionic Conductivity by Moisture Absorbing Nanoparticle on Modifed Sulfonated Polyether-ether Ketone Membrane for Direct Methanol Fuel Cells*. **Journal Institute for Science and Technology Studies (ISTECS)**. (X): 79-89. (2007)
18. M. J. E. C. Van der Maarel, B. Van der Veen, J. C. M. Uitdehaag, H. Leemhuis, L. Dijkhuizen. *Properties and appications of starch-converting enzymes of the  $\alpha$ -amylase family*. **J. Biotechnol.** 94 : 137-155. (2002)
19. B. E. Logan, B. Hamelers, R. Rozendal, U. Schroder, J. Keller, S. Freguia, P. Aelterman, W. Verstraete, K. Rabaey. *Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology*. **Environmental Science and Technology**. 40(17), 5181-5192. (2006)



20. S. E. Oh, B. E. Logan. Hydrogen and electricity production from a food processing wastewater using fermentation and microbial fuel cell technologies. **Water Research**. 39: 4673-4682. (2005)
21. B. Min, S. Cheng, B. E. Logan. *Electricity generation using membrane and salt bridge microbial fuel cell*. **Water Research**. 39: 1675-1686. (2005)