

STUDI PENAMBAHAN MIKROORGANISME PADA SUBSTRAT LIMBAH POME TERHADAP KINERJA *MICROBIAL FUEL CELL*

Rachmad Ramadhan Yogaswara*, Ayu Shafira Farha, Khairunnisa, Memik Dian Pusfitasari, Adrian Gunawan

Program Studi Teknik Kimia, Jurusan Teknologi Industri dan Proses, Institut Teknologi Kalimantan
Kampus ITK Karangjoang, Balikpapan, 76127
Telp : (0542)-8530800, Fax : (0542)-8530801
Email: r.yogaswara@itk.ac.id

Abstrak

Sel bahan bakar (fuel cell) sebagai sumber energi listrik alternatif yang menggunakan prinsip reaksi bioelektrokimia dengan memanfaatkan mikroorganisme disebut Microbial Fuel Cell (MFC). Substrat dan mikroorganisme merupakan hal yang sangat berpengaruh terhadap kinerja MFC dalam memproduksi energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penambahan mikroorganisme ke dalam substrat terhadap kinerja MFC. Substrat yang digunakan adalah limbah cair pengolahan kelapa sawit yang sering disebut POME (palm oil mill effluent). Terdapat dua jenis mikroorganisme yang masing – masing ditambahkan ke dalam substrat POME, yakni Saccharomyces cerevisiae dan bakteri Escherichia coli. Proses bio-listrik ini dilakukan dengan dual-chamber reactor sebagai anoda dan katoda yang dihubungkan dengan jembatan garam dan terdapat elektroda di setiap chamber yang dihubungkan dengan kabel tembaga. Hasil yang didapatkan adalah penambahan S. cerevisiae menurunkan power density yang dihasilkan oleh MFC dibandingkan dengan POME murni. Sebaliknya, penambahan bakteri E. coli ke dalam substrat POME membuat listrik yang diproduksi oleh MFC semakin meningkat. Power density tertinggi yang diperoleh pada penambahan S. cerevisiae sebesar 103,15 mW/m², sebaliknya pada penambahan E. coli diperoleh power density tertinggi sebesar 103,02 mW/m².

Kata kunci: *Escherichia coli, microbial fuel cell, limbah POME, Saccharomyces cerevisiae*

STUDY OF ADDITION MICROORGANISMS ON POME WASTE SUBSTRATE TO MICROBIAL FUEL CELL PERFORMANCE

Abstract

Microbial Fuel Cell (MFC) as an alternative energy resources is being investigated at this decade. This is one type of fuel cell using bioelectrochemical reactions principle and utilizing microorganism. Meanwhile, substrates and microorganism are the influential thing for MFC's performance to producing electricity. The objectives of this research is to study the effect of microorganism addition into substrates toward MFC's performance. Palm oil refinery plant wastewater that usually called palm oil mill effluent (POME) is utilized as substrates. There are two kind of microorganism which is added into substrates respectively, that is Saccharomyces cerevisiae and Escherichia coli. This bio-electricity process is occurred in dual chamber reactor as anode and cathode that connected with salt bridge. There are also carbon electrode in each chamber that connected with copper-wire for electricity measurement. The result of this research is Saccharomyces cerevisiae addition decreasing power density of MFC compared to pure POME as substrates. Otherwise, Escherichia coli actually increase metabolism reaction within substrates resulting higher power density. The highest power density that obtained from this two kind of treatment is 103,15 mW/m² and 103,02 mW/m² respectively.

Keywords: *Escherichia coli, microbial fuel cell, limbah POME, Saccharomyces cerevisiae*

PENDAHULUAN

Konsumsi listrik Indonesia setiap tahunnya terus meningkat sejalan dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi nasional. Peningkatan kebutuhan listrik tersebut rata - rata adalah 6,5% per tahun hingga tahun 2020 (Muchlis, 2003). Berdasarkan rasio elektrifikasi, wilayah Kalimantan memiliki nilai rasio yang terkecil. Laju pertumbuhan penduduk di Kalimantan Timur sebesar 17 persen per tahun juga sangat mempengaruhi kebutuhan listrik, dimana pertumbuhan pelanggan potensial setiap tahun meningkat 14–15 persen. Sementara itu, rasio elektrifikasi gabungan Kalimantan Timur dan Utara tahun ini di angka 85,62 persen. Diperkirakan 10 tahun nanti, kebutuhan listrik Kalimantan Timur mencapai 1000 MW. Sementara itu sampai sejauh ini, daftar tunggu permintaan di PLN yang ingin mendapat sambungan listrik di Kalimantan Timur lebih dari 101.169 pelanggan. Berdasarkan kondisi tersebut, wilayah Kalimantan Timur berpotensi mengalami krisis energi listrik di masa depan (ESDM, 2015).

Saat ini Indonesia merupakan produsen minyak sawit mentah (*crude palm oil*) terbesar di dunia. Pada 2012, luas lahan perkebunan sawit diperkirakan sebesar 9 juta hektar yang tersebar di pulau Sumatera dan Kalimantan, dengan produksi CPO 24 juta ton per tahun. Di sisi lain, produksi minyak kelapa sawit yang tinggi di Kalimantan Timur berdampak pada produksi limbah pengolahan sawit yang tinggi pula. Limbah cair dari pengolahan sawit atau sering disebut *Palm Oil Mill Effluent* (POME) yang dihasilkan dari pengolahan kelapa sawit merupakan limbah cair (55 – 67 %), yang dapat mencemari air karena mengandung 20000 – 30000 mg/l *biological oxygen demand* (BOD). Pengolahan limbah POME dapat mengurangi sejumlah besar kandungan BOD serta mengurangi dampak negatif dari limbah pabrik kelapa sawit terhadap ekosistem perairan (MCA-Indonesia, 2014).

Salah satu alternatif dalam memanfaatkan limbah POME yakni dengan menggunakannya sebagai substrat pada sel bahan bakar berbasis mikroba (*microbial fuel cell*). *Microbial fuel cell* adalah peralatan yang memanfaatkan bakteri atau mikroorganisme sebagai katalis untuk mengoksidasi senyawa organik dan anorganik sehingga menghasilkan arus listrik (Logan, 2008). Telah banyak penelitian yang mempelajari pemanfaatan limbah organik sebagai bahan baku MFC antara lain, pemanfaatan limbah industri tahu menggunakan sistem *double chamber* MFC (Hermawan, dkk., 2014), pemanfaatan limbah industri tempe melalui MFC untuk produksi energi listrik (Kristin, 2012), serta limbah cair perikanan sebagai penghasil biolistrik dengan rangkaian seri sistem MFC (Ibrahim, dkk., 2014). Beragam jenis mikroba pun telah digunakan dalam MFC, antara

lain *Saccharomyces cerevisiae* (Zahara, 2011), *Escherichia coli* (Scott, dkk., 2007), *Lactococcus lactis* (Masuda, 2010). Pada penelitian ini, limbah POME dari pengolahan kelapa sawit dimanfaatkan untuk sel bahan bakar berbasis mikroba (MFC). Secara khusus, pengaruh penambahan mikroorganisme ke dalam substrat terhadap kinerja MFC juga dikaji. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif pemanfaatan limbah POME sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh limbah industri.

METODE PENELITIAN

Limbah pengolahan minyak kelapa sawit yang digunakan adalah limbah POME yang diperoleh dari PTPN XIII, Kabupaten Paser, Kalimantan Timur. Sedangkan mikroorganisme yang ditambahkan ke dalam substrat limbah POME adalah jamur *Saccharomyces cerevisiae* dan bakteri *Escherichia coli*. MFC yang didesain adalah MFC tipe dua kamar (*dual chamber*) dengan menggunakan batang karbon sebagai elektrodanya dan larutan KMnO_4 sebagai mediator elektronnya. Luas permukaan dari elektroda ini sebesar $1,534 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ dengan diameter sebesar 0,8 cm dan panjang 5,7 cm.

Desain MFC tipe *dual chamber* memiliki dua kamar yang terdiri dari kompartemen anoda dan kompartemen katoda seperti yang ditunjukkan oleh gambar 1 di bawah. Masing – masing kompartemen terdapat elektroda karbon yang dihubungkan dengan kabel listrik untuk pengukuran kuat arus dan tegangan listrik yang dihasilkan. Anoda dan katoda tersebut dipisahkan oleh sebuah jembatan garam sebagai membran penukar proton. Kedua kompartemen ini menampung volume masing-masing sebanyak 500 ml.



Gambar 1. Rangkaian *Microbial Fuel Cell*

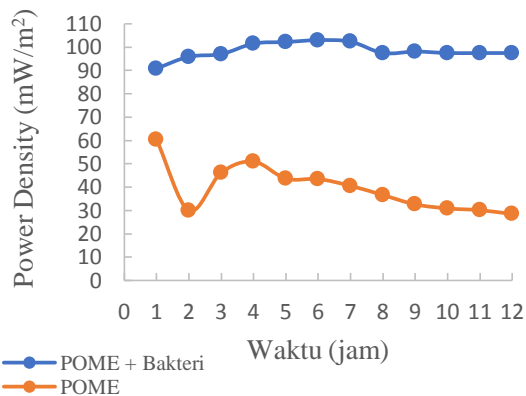
Limbah organik POME (*Palm Oil Mill Effluent*) diisikan pada kompartemen anoda dengan variasi penambahan *Escherichia coli* dan *Saccharomyces cerevisiae* (10 % v/v). Sedangkan pada kompartemen katoda berisi larutan KMnO_4 200 ppm dan dikondisikan aerob dengan bantuan *aerator*. Instrumen pengukur kuat arus dan tegangan yang digunakan dalam penelitian MFC ini adalah *Constant 89 Auto Range Digital Multimeter*.

Beberapa parameter yaitu tegangan listrik, kuat arus, serta BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) dianalisis pada penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran energi listrik didapatkan dengan melakukan pengukuran tegangan listrik dan kuat arus. Tegangan yang diukur dalam penelitian MFC ini disebut *Open Circuit Voltage* (Tegangan Sirkuit Terbuka) karena sirkuit listrik dalam penelitian ini merupakan sistem MFC, tidak diberikan beban atau hambatan listrik eksternal seperti resistor atau lampu. Eksperimen MFC ini menggunakan limbah POME murni + bakteri *Escherichia coli* dengan konsentrasi sebesar 10% (v/v).

Penambahan bakteri *Escherichia coli* bertujuan untuk menambah jumlah bakteri yang ada pada limbah POME. Sebelum dicampurkan ke dalam limbah POME, bakteri *Escherichia coli* dimasukkan ke dalam *nutrient broth* cair sebagai media untuk pertumbuhan bakteri. Kemudian dilakukan pengamatan terhadap kuat arus dan tegangan listrik selama 12 jam.



Gambar 2. Hubungan antara waktu operasi *Microbial Fuel Cell* terhadap *power density* yang dihasilkan oleh MFC untuk POME murni dan POME + Bakteri

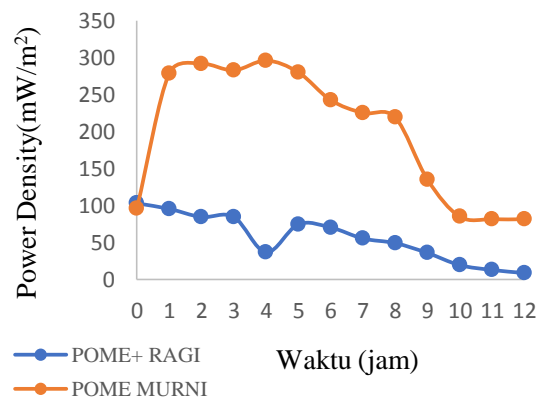
Berdasarkan data – data kuat arus listrik dan tegangan listrik maka dapat dilakukan perhitungan *power density* yang dihasilkan oleh sistem MFC tersebut (Gambar 2. dan Gambar 3.). *Power density* adalah daya listrik yang dihasilkan per luas permukaan elektroda. *Power density* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

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

Berdasarkan Gambar 2, *power density* yang dihasilkan secara rata – rata mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya waktu operasi. Hal ini

dapat terjadi karena mikroorganisme yang terdapat di dalam limbah POME belum berada pada fase eksponensial.

Fase ini, sel melakukan metabolisme secara aktif yang disertai oleh pembelahan dan sintesis bahan sel yang berlangsung cepat (Sumarsih, 2007). Selain itu, belum maksimalnya proses konversi glukosa sebagai sumber karbon belum dapat menunjang terjadinya peningkatan energi listrik (Rabaey, 2003). Hal tersebut berakibat pada belum maksimalnya transfer elektron dari metabolisme mikroorganisme sehingga mengakibatkan penurunan produksi listrik.



Gambar 3. Hubungan waktu operasi *Microbial Fuel Cell* terhadap *power density* yang dihasilkan untuk POME murni dan POME + Ragi

Selain itu, penambahan bakteri *Escherichia coli* ke dalam substrat POME mengakibatkan naiknya *power density* yang dihasilkan. *Power density* tertinggi yang dihasilkan dengan penambahan *E. coli* sebesar 103,02 mW/m². Efisiensi transfer elektron dari bakteri ke elektroda sebanding dengan jumlah bakteri yang melakukan kontak dengan elektroda tersebut (Lee, dkk., 2010). Bertambahnya jumlah sel bakteri ini memungkinkan semakin banyaknya proton dan elektron yang dapat dihasilkan dari proses metabolisme sehingga kuat arus yang dihasilkan semakin besar (Novitasari, 2011). Akan tetapi, jumlah glukosa sebagai substrat di anoda bernilai tetap. Akibatnya, terjadi perebutan nutrisi di antara sel bakteri sehingga tidak semua sel bakteri dapat melakukan metabolisme (Utari, 2012).

Selain itu, pada Gambar 3. terlihat penurunan *power density* yang signifikan saat ragi ditambahkan ke dalam substrat POME. Hal ini terjadi karena ragi yang digunakan mengandung sebagian besar mikroba *Saccharomyces cerevisiae*. Mikroba ini tidak mampu bertahan dalam limbah POME karena tidak memiliki enzim lipase untuk memecah kandungan lemak pada limbah POME. Penurunan *power density* terjadi sehubungan dengan aktivitas ragi di dalam anoda yang lama kelamaan dapat membentuk *biofilm* pada permukaan elektroda (Nevin, dkk, 2008). Terbentuknya *biofilm* ini dapat

mengakibatkan peningkatan hambatan dalam di anoda (Zahara, 2011) dan dapat menyebabkan penurunan nilai *power density*. *Power density* tertinggi yang dihasilkan dengan penambahan mikroba *S. cerevisiae* sebesar 103,15 mW/m².

Tabel 1. Hasil Analisa BOD dan COD

Variabel	Sebelum Operasi MFC		Setelah Operasi MFC	
	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
POME	7141,6495	62126,0142	7184,4041	63860,5782
POME + <i>E.coli</i>	7568,092	73409,2275	7155,364	62964,1564

Setelah mendapatkan nilai energi listrik yang dihasilkan dari setiap variasi substrat, selanjutnya dilakukan analisa pengukuran BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) limbah POME pada saat sebelum dan sesudah proses MFC. Substrat sangat penting dalam berbagai proses pengolahan biologi karena menjadi sumber karbon (nutrien). Untuk dapat mengetahui banyaknya substrat limbah POME yang terdegradasi dalam sistem MFC dapat dilihat dari nilai konsentrasi BOD dan COD limbah POME tersebut. Hasil analisa BOD dan COD terhadap POME terdapat pada Tabel 1.

Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai BOD dan COD pada setiap variabel substrat, kecuali pada variabel limbah POME. Pada variabel limbah POME terjadi peningkatan nilai BOD dan COD. Penurunan efisiensi nilai BOD dan COD pada limbah POME + bakteri *Escherichia coli* 10% (v/v) berturut - turut adalah 5,45 % dan 14,23 %. Semakin banyaknya jumlah bakteri dalam limbah, maka semakin banyak pula jumlah kebutuhan oksigen yang diperlukan, sehingga kadar BOD dan COD semakin menurun seiring proses metabolisme dalam MFC yang terjadi (Wijaya, 2008). Pada penelitian lain disebutkan tingkat efisiensi penurunan COD terjadi bila kandungan organik di dalam kompartemen anoda meningkat (Aslan, 2008).

SIMPULAN

Terdapat berbagai kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini. Bahwa, penambahan *Saccharomyces cerevisiae* pada substrat POME menurunkan kinerja MFC dilihat dari penurunan nilai kuat arus listrik, tegangan listrik, sehingga berakibat pada menurunnya *power density* yang dihasilkan. Sebaliknya, penambahan bakteri *Escherichia coli* justru meningkatkan performa dari MFC. Hal itu terlihat dari naiknya nilai kuat arus listrik, tegangan listrik, dan *power density*. Selain itu, proses MFC yang dilakukan secara umum tidak signifikan dalam menurunkan kadar BOD dan COD dari limbah POME yang dipakai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah mendanai riset ini melalui skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) Tahun Pendanaan 2017.

DAFTAR NOTASI

- A = Luas permukaan elektroda (m²)
- I = Kuat arus listrik (mA)
- P = *Power density* (mW/m²)
- V = Tegangan listrik (Volt)

DAFTAR PUSTAKA

- Aslan, Sibel. dan Nusret, S. (2008), *The Performance of UASB Reactors Treating High-Strength Wastewaters*, Journal of Environmental Health, National Environmental Health Association.
- Direktorat Ketenagalistrikan Kementrian ESDM. 2015. *Statistik Ketenagalistrikan 2015*. Jakarta
- Hermawan, dkk. 2015. *Penggunaan Teknologi Reaktor Microbial Fuel Cell (MFCs) dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu untuk Menghasilkan Energi Listrik*. Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro.
- Ibrahim, dkk. (2014), *Kinerja Rangkaian Seri Sistem Microbial Fuel Cell Sebagai Penghasil Biolistrik dari Limbah Cair Perikanan*, Teknologi Hasil Perairan, Institut Pertanian Bogor.
- Kristin, Ester. 2012, *Produksi Energi Listrik Melalui Microbial Fuel Cell Menggunakan Limbah Industri Tempe*. Teknologi Bioproses, Universitas Indonesia.
- Lee, Seung Won Jeon., Bo, Young Park., Doo Hyun. (2010), *Effect of Bacteria Cell Size on Electricity Generation in a Single-Compartment Microbial Fuel Cell*, Biotechnol Lett, No. 32, hal. 483-487.
- Logan, B. E. 2008. *Microbial Fuel Cell*. New Jersey : John Wiley & Sons, Ltd
- Masuda, Masaki. 2010. *Flavins Contained in Yeast Extract are Exploited for Anodic Electron Transfer by Lactococcus Lactis*. Division of Applied Life Sciences, Kyoto University.
- MCA – Indonesia. 2014. *Pembangkit Listrik Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit*.
- Muchlis, M. dan Permana, A. D. 2003. *Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN Tahun 2003 s.d. 2020*. Makalah Pengembangan Sistem Kelistrikan dalam Menunjang Pembangunan Nasional Jangka Panjang.

Rachmad Ramadhan Yogaswara*, Ayu Shafira Farha, Khairunnisa, Memik Dian Pusfitasari, Adrian Gunawan: studi penambahan mikroorganisme pada substrat limbah pome terhadap kinerja *microbial fuel cell*

- Nevin. K. P., Richter, H., Covalla, S. F., Johnson, J. P., Woodard, T. L., Orloff, A. L. (2008), *Power Output and Columbic Efficiencies from Biofilms of Geobacter Sulfurreducens Comparable to Mixed Community Microbial Fuel Cells*, Journal Compilation Society for Applied Microbiology and Blackwell Publishing Ltd., Environmental Microbiology.
- Novitasari, Deni. (2011), *Optimasi Kinerja Microbial Fuel Cell untuk Produksi Energi Listrik Menggunakan Bakteri Lactobacillus bulgaricus*, Skripsi, Universitas Indonesia.
- Rabaey, Korneel. 2003. *A Microbial Fuel Cell Capable of Converting Glucose to Electricity at High Rate and Efficiency*. Kluwer Academic Publisher. Ghent University, Belgium.
- Scott, K., Murano dan Cassandro. (2007), *Microbial Fuel Cell Utilising Carbohydrates*, Journal of Chemical Technology and Biotechnology, Vol. 89, hal. 92-100.
- Sumarsih. (2007), *Pertumbuhan Bakteri*, Hal. 90-96.
- Utari, Nareswati Dwi. (2012), *Pemanfaatan Limbah Buah – Buah sebagai Penghasil Energi Listrik dengan Teknologi Microbial Fuel Cell*, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Wijaya, Christina Natalia. (2008), *Pemanfaatan Limbah Rumah Potong Hewan (RPH) sebagai Media Kultur Mikroba Penghasil Listrik melalui Microbial Fuel Cell (MFC)*, Universitas Indonesia, Depok.
- Zahara, N. C. 2011. *Pemanfaatan Saccharomyces Cerevisiae dalam Sistem Microbial Fuel Cell untuk Produksi Energi Listrik*. Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.