

PENGARUH JENIS BAKTERI SELULOTIK TERHADAP EFISIENSI SEL BAKAR MIKROBA

EFFECT OF THE SPESIES OF CELLULOTIC BACTERIA TO EFFICIENCY OF MICROBIAL FUEL CELL

Laili Kurniawati* dan I Gusti Made Sanjaya

*Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural sciences
State University of Surabaya*

Jl. Ketintang Surabaya (60231), Telp. 031-8298761

Corresponding author, tel/fax: 085851823229, Lay_Niae@yahoo.co.id

Abstrak. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi jenis bakteri selulotik yang berasal dari feses sapi terhadap besarnya efisiensi sel bakar mikroba. Penelitian dilakukan melalui uji laboratorium terhadap voltase sel bakar mikroba menggunakan avometer. Metode yang digunakan adalah mengalirkan substrat berupa larutan feses sapi ke dalam ruang anoda sel bakar sedangkan aquades digunakan untuk mengisi ruang katoda. Elektroda karbon aktif digunakan sebagai anoda dan seng sebagai katoda. Kemudian ditambahkan bakteri selulotik dari feses sapi pada ruang anoda. Jenis bakteri selulotik yang digunakan adalah *Pseudomonas sp.*, *Cellulomonas sp.*, dan *Cellvibrio sp.* Bakteri selulotik melakukan metabolisme terhadap substrat di anoda dan mengubahnya menjadi energi listrik. Elektron mengalir melalui sirkuit luar menuju ke katoda sehingga menimbulkan arus listrik. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa bakteri selulotik dari jenis *Pseudomonas sp.* menghasilkan efisiensi tertinggi yaitu 68,4%. Sedangkan bakteri *Cellulomonas sp.* dan *Cellvibrio sp.* menghasilkan efisiensi sebesar 62,9% dan 63,6%.

Kata kunci: *Sel bakar Mikroba, Bakteri Selulotik, Efisiensi.*

Abstract. The purpose of this research is to know the effect of variations spesies in cellulotic bacteria that derived from cow feces to microbial fuel cells efficiency. The research was conducted through laboratory testing of microbial fuel cell voltage using avometer. The method that used is by flowing substrate from cow feces solution into the fuel cell anode chamber, while water is used to fill the cathode chamber. Activated carbon electrode used as anode, while zinc used as cathode. Thus, added cellulotic bacteria from cow feces at anode chamber. Cellulotic bacteria spesies used were *Pseudomonas sp.*, *Cellulomonas sp.*, and *Cellvibrio sp.* Cellulotic bacteria do metabolism process concern the substrate at anode and convert it into electrical energy. Electrons through external circuit to the cathode, so giving rise to electric current. The result showed that cellulotic bacteria of *Pseudomonas sp.* produce the highest efficiency is 68.4%. While the bacteria *Cellulomonas sp.* and *Cellvibrio sp.* produce efficiency is 62.9% and 63.6%.

Keywords: *Microbial Fuel Cell, Cellulotic Bacteria, Efficiency.*

PENDAHULUAN

Kegiatan perekonomian dunia yang semakin dinamis meningkatkan kebutuhan energi. Berbagai sumber energi primer telah dimanfaatkan manusia untuk memenuhi kebutuhan energi dan hampir seluruhnya merupakan bahan bakar

berbasis karbon. Penggunaan bahan bakar berbasis karbon menghasilkan gas buang berupa karbon dioksida yang dapat menyebabkan pemanasan global.

Cara yang tepat untuk mengurangi emisi gas rumah kaca adalah pengenalan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan. Salah satu alternatif yang

dilakukan adalah dengan mengganti penggunaan bahan bakar berbasis karbon dengan bahan bakar berbasis hidrogen.

Sel bakar atau *fuel Cell* merupakan alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi peningkatan kebutuhan energi nasional. Sel bakar bersifat ramah lingkungan, karena sel ini tidak menghasilkan pencemaran, bahkan dapat digunakan untuk mengatasi masalah lingkungan dengan cara mendaur ulang limbah menjadi sumber energi.

Unit dasar dari sel bakar terdiri dari 2 elektroda yaitu anoda dan katoda, elektrolit dan bahan bakar. Anoda adalah elektroda yang bermuatan negatif tempat terjadinya reaksi oksidasi dan katoda adalah elektroda yang bermuatan positif tempat terjadinya reaksi reduksi.

Sel bakar menghasilkan energi dalam bentuk energi listrik dengan cara memproduksi dan mengendalikan arus elektron. Sel bakar konvensional memperoleh elektron dengan melepaskan atom hidrogen. Untuk menghasilkan hidrogen bebas dalam sel bakar dibutuhkan katalis yang ditempatkan dalam ruang anoda [1]. Katalis tersebut dapat berasal dari sel hidup seperti mikroba. Sel bakar jenis ini disebut dengan sel bakar mikroba atau *microbial fuel cell* (MFC).

Sel bakar mikroba memanfaatkan materi organik yang digunakan oleh mikroba sebagai sumber energi dalam melakukan aktivitas metabolisme. Sel bahan bakar mikroba bekerja melalui aksi bakteri yang dapat mengantarkan elektron-elektron ke anoda. Elektron mengalir dari anoda melalui sebuah kawat ke katoda yang menghasilkan arus listrik [2].

Selain ramah lingkungan, sel bakar mikroba juga memiliki kelebihan, dimana

energi listrik yang dihasilkan dapat berasal dari pemanfaatan limbah organik di alam. Salah satu limbah organik yang melimpah di bumi adalah limbah organik selulotik.

Limbah organik selulotik dapat berasal dari usaha peternakan, seperti usaha pemeliharaan ternak, rumah potong hewan, dan pengolahan produk ternak. Limbah tersebut meliputi limbah padat dan limbah cair seperti feses dan isi rumen. Untuk mengurangi kelimpahan limbah selulotik, dilakukan pemanfaatan untuk mengubahnya menjadi bernilai ekonomis. Penelitian sel bakar mikroba dengan menggunakan limbah telah dilakukan oleh Sidharta [3] dan diperoleh hasil yang menyatakan bahwa cair rumen dapat menghasilkan voltase sel bakar mikroba yang lebih besar dibandingkan limbah kelapa sawit dan limbah tahu.

Hewan ternak yang banyak ditemui di Indonesia adalah sapi. Sapi memiliki kemampuan memanfaatkan pakan berserat lebih efisien dibandingkan ternak ruminansia lain [4]. Aktivitas selulase cairan rumen sapi juga lebih tinggi dari cairan rumen ternak ruminansia lain [5].

Limbah organik dari ternak yang perlu ditangani adalah feses sapi, karena sapi mengeluarkan feses lebih banyak dibandingkan dengan hewan ternak lainnya. Sapi dapat mengeluarkan feses 15-45 Kg setiap harinya [6].

Feses diduga mengandung mikroba yang berasal dari rumen oleh karena itu feses dapat digunakan sebagai sumber alternatif penyedia mikroba. Pada feses hewan dapat ditemukan beberapa jenis bakteri selulotik [7].

Bakteri selulotik adalah bakteri yang mampu menguraikan atau mendekomposisikan substrat dari selulosa [8]. Penggunaan spesies bakteri yang

berbeda sebagai katalis pada MFC akan menghasilkan efisiensi yang berbeda. Perbedaan jenis bakteri ini dapat mempengaruhi proses transfer elektron dari anoda ke katoda.

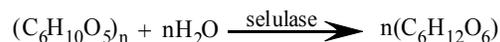
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan sistem *Dual-Chamber*, terdiri dari 2 tabung kaca berukuran 150 mL yang disekat oleh membran penukar proton, Nafion 117. Satu tabung kaca berfungsi sebagai ruang anoda yang diisi larutan feses sapi yang telah steril dan tabung kaca yang lain diisi dengan aquades berfungsi sebagai ruang katoda. Ruang anoda dihubungkan dengan jirigen yang berisi cairan feses sapi steril melalui selang infus. Pada ruang anoda dimasukkan elektroda karbon aktif dan pada ruang katoda dimasukkan elektroda seng. Kedua elektroda dihubungkan dengan avometer melalui kabel. Kemudian 1,5 mL bakteri selulolitik dimasukkan ke dalam ruang anoda menggunakan spet. Penambahan bakteri dilakukan secara aseptik menggunakan pembakar spiritus dan alkohol. Jenis bakteri yang digunakan adalah *Pseudomonas sp.*, *Cellulomonas sp.*, dan *Cellvibrio sp.* Selanjutnya dilakukan pengukuran voltase pada sel bakar mikroba menggunakan avometer setiap satu jam sekali hingga mencapai titik maksimum, kemudian dihitung nilai efisiensinya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bakteri selulolitik memiliki kemampuan untuk menguraikan substrat dari selulosa. Pada penelitian ini digunakan substrat berupa larutan feses sapi yang mengandung selulosa. Selulosa dihidrolisis menjadi glukosa oleh bakteri selulolitik secara enzimatik. Bakteri melakukan

metabolisme terhadap substrat dan mengubahnya menjadi energi dan CO₂ [9].



Ion H⁺ yang terdapat dalam sel anoda diperoleh dari metabolisme yang dilakukan oleh bakteri. Senyawa NAD⁺ menerima ataupun mendonorkan elektronnya dalam reaksi redoks dalam proses metabolisme. Reaksi umum yang menghasilkan ion hidrogen dalam metabolisme:



Reaksi ini melibatkan pelepasan dua atom hidrogen dari reaktan (R), dalam bentuk ion hidrida (H⁻) dan proton (H⁺). Proton dilepaskan ke dalam larutan ketika reduktan RH₂ dioksidasi dan NAD⁺ direduksi menjadi NADH melalui transfer hidrida menuju cincin nikotinamida [10].

Transport elektron yang dilakukan oleh bakteri menyebabkan H⁺ dapat dipompa ke luar sel bakteri. Menurut Lehninger [11] fungsi transport elektron yang terjadi pada membran sebelah dalam adalah untuk memompa H⁺ dari matriks ke medium sebelah luar. Energi yang dibebaskan pada saat elektron mengalir dari substrat ke oksigen di sepanjang rantai respirasi pada keadaan tertentu dapat menyebabkan transport H⁺ dari matriks mitokondria ke dalam medium, hal ini mengakibatkan ruang matriks dalam menjadi lebih basa serta medium lingkungan menjadi lebih asam. Membran dalam mengandung pompa H⁺ yang memanfaatkan energi bebas dari aliran elektron sebagai tenaga penarik untuk mengangkut H⁺ ke luar. Reaksi yang terjadi pada anoda adalah:



Elektron akan dialirkan keluar sistem sel bakar melalui sirkuit eksternal sedangkan ion hidrogen akan berpindah ke katoda melalui membran Nafion 117 sehingga dapat menghasilkan listrik.

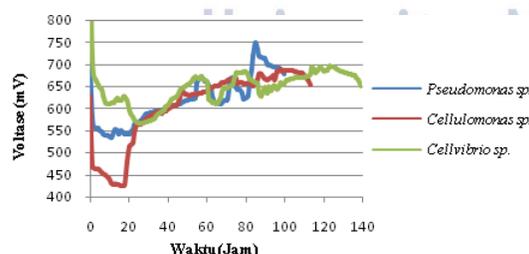
Ruang katoda dari sel bakar mikroba bersifat terbuka sehingga oksigen dapat masuk ke dalam sel katoda. Ion hidrogen yang mengalir ke katoda bereaksi dengan oksigen menghasilkan air. sel bakar mikroba menghasilkan hasil samping berupa air yang bersifat *clean energy*. Reaksi yang terjadi pada katoda adalah:



Secara keseluruhan reaksi yang terjadi pada sel bakar mikroba dengan penambahan bakteri selulotik:



Hasil pengukuran voltase sel bakar mikroba pada masing-masing penambahan 1,5 mL bakteri selulotik ditunjukkan melalui grafik hubungan antara waktu dan nilai voltase yang dihasilkan oleh sel bakar mikroba seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Grafik hasil pengukuran voltase sel bakar mikroba.

Berdasarkan gambar 1 diperoleh voltase maksimum yang dihasilkan sel bakar maupun sel bakar mikroba.

Tabel 1. Suhu dan voltase maksimum sel bakar mikroba dengan variasi jenis bakteri selulotik dari feses sapi

No.	Jenis Bakteri	Suhu (°C)	Voltase maksimum (mV)
1.	<i>Pseudomonas sp.</i>	31	750
2.	<i>Cellulomonas sp.</i>	32	689
3.	<i>Cellvibrio sp.</i>	30	697

Sebelum menentukan harga efisiensi sel bakar mikroba, perlu dilakukan perhitungan harga entalpi reaksi standar pada suhu 25°C [ΔH_{25}°] berdasarkan persamaan berikut:

$$\Delta H_{25}^{\circ} = [6\Delta H_f^{\circ} CO_2 + 6\Delta H_f^{\circ} H_2O] - [\Delta H_f^{\circ} C_6H_{12}O_6 + 6\Delta H_f^{\circ} O_2]$$

dan dilakukan perhitungan harga kapasitas kalor per mol reaksi [ΔCp] berdasarkan persamaan berikut:

$$\Delta Cp = [6 Cp CO_2 + 6 Cp H_2O] - [Cp C_6H_{12}O_6 + 6Cp O_2]$$

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan diperoleh harga entalpi reaksi standar pada suhu 25°C sebesar 2538700 J/mol dan harga kapasitas kalor per mol reaksi sebesar 28,6 J/mol K.

Penentuan harga entalpi reaksi pada suhu ketika sel bakar mikroba menghasilkan voltase maksimum (T_2) dilakukan menggunakan persamaan:

$$\Delta H_{(T_2)} = \Delta H_{(25)}^{\circ} + \Delta Cp \times (T_2 - 298 K)$$

Tabel 2. Entalpi reaksi pada suhu T_2

No.	Jenis Bakteri	Entalpi reaksi pada suhu T_2 [ΔH_{T_2}](J/mol)
1.	<i>Pseudomonas sp.</i>	-2538528,4
2.	<i>Cellulomonas sp.</i>	-2538499,8
3.	<i>Cellvibrio sp.</i>	-2538557,0

Setelah menentukan harga entalpi reaksi, dilakukan penentuan harga energi bebas Gibbs pada reaksi menggunakan persamaan:

$$\Delta G = - \epsilon_{\text{sel}} \cdot n \cdot F$$

Tabel 3. Energi bebas Gibbs

No.	Jenis Bakteri	Energi bebas Gibbs [ΔG] (J/mol)
1.	<i>Pseudomonas sp.</i>	-1737000
2.	<i>Cellulomonas sp.</i>	-1595724
3.	<i>Cellvibrio sp.</i>	-1614252

Harga efisiensi sel bakar mikroba dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$\eta_{\text{FC}} = \frac{\Delta G}{\Delta H} \times 100 \%$$

Tabel 4. Efisiensi sel bakar mikroba

No.	Jenis Bakteri	Efisiensi sel bakar mikroba [η_{FC}] (%)
1.	<i>Pseudomonas sp.</i>	68,4
2.	<i>Cellulomonas sp.</i>	62,9
3.	<i>Cellvibrio sp.</i>	63,6

Berdasarkan hasil pengukuran voltase dan penentuan harga efisiensi sel bakar mikroba yang diperoleh pada masing-masing jenis bakteri selulotik feses sapi yang ditambahkan yaitu *Pseudomonas sp.*, *Cellulomonas sp.*, dan *Cellvibrio sp.* menunjukkan bahwa setiap jenis bakteri selulotik menghasilkan nilai efisiensi yang berbeda dan diketahui bahwa terdapat pengaruh dalam variasi jenis bakteri selulotik feses sapi terhadap efisiensi yang dihasilkan oleh sel bakar mikroba. Penambahan bakteri *Pseudomonas sp.*

pada sel bakar mikroba memberikan efisiensi yang paling tinggi dibandingkan dengan *Cellulomonas sp.* dan *Cellvibrio sp.* yaitu sebesar 68,4%. Besar kecilnya efisiensi yang dihasilkan oleh sel bakar mikroba dipengaruhi oleh bakteri yang hidup dan memanfaatkan nutrisi yang terkandung dalam substrat. Menurut Sidharta [3] semakin aktif suatu mikroba dalam melakukan metabolisme maka makin banyak pula elektron bebas yang dihasilkan. Aliran elektron inilah yang menyebabkan beda potensial antara kedua kutub (anoda dan katoda) yang dapat dideteksi oleh avometer. Semakin besar voltase yang dihasilkan maka semakin besar pula efisiensinya.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh variasi jenis bakteri selulotik yang ditambahkan terhadap besarnya efisiensi sel bakar mikroba. Besar kecilnya efisiensi yang dihasilkan dipengaruhi oleh besarnya aktivitas bakteri dalam melakukan metabolisme. Semakin aktif bakteri melakukan metabolisme, maka makin besar pula nilai efisiensi yang dihasilkan. Dari tiga jenis bakteri selulotik yang ditambahkan, *pseudomonas sp.* memberikan nilai efisiensi yang lebih besar dibandingkan *Cellulomonas sp.* dan *Cellvibrio sp.* yaitu 68,4%. Sedangkan nilai efisiensi yang diberikan *Cellulomonas sp.* dan *Cellvibrio sp.* berturut-turut adalah 62,9% dan 63,6%.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai sel bakar mikroba dengan sistem bejana seri untuk meningkatkan perolehan voltase yang lebih besar dibandingkan

dengan sistem bejana sapsang serta dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui *lifetime* dari sel bakar mikroba dengan menggunakan bakteri selulotik feses sapi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Nasruddin, Harun. 2009. *Pengembangan Sumber Energi Renewable Sel Bakar Mikroba Dalam Mengatasi Limbah Organik Selulotik*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
2. Rabey, Korneel and Willy Verstraete. 2005. Microbial Fuel Cells: Novel Biotechnology for Energy Generation. *ELSEVIER Trends in Biotechnology vol.23 No.6 June 2005*.
3. Sidharta, Mutiara L., dkk. 2007. *Pemanfaatan Limbah Cair sebagai Sumber Energi Listrik pada Microbial Fuel Cell*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
4. Kennedy, P.M., C.S. McSweeney, Foulkes, A. John, A.C. Schlinka, R.P. Lefeuvre, and J.D. Kerr. 1992. Intake and Digestion in Swamp Buffaloes and Cattle : The Digestion Of Rice Straw (*Oriza Sativa*). *J. Agric. Sci.* 119 (2): 227-242.
5. Cahyono, E.W., 1994. Pengaruh Pakan Serat Kasar dari Rumen Jerami Padi Terhadap Karakteristik Biokimiawi Cairan Rumen Ternak Ruminansia. *Tesis S2*. Program Studi ilmu peternakan, Universitas Gadjah Mada.
6. Bondi, A. A. 1987. *Animal Nutrition*. Wiley Interscience Publication London.
7. Omed, H. M., D. K. Lovert, and R. F. E. Axford. 2000. *Feces as a Source of Microbial Enzymes for Estimating Digesfibility. I: Forage Evaluation in Ruminant Animal Digestive Physiology and Nutrition*. C.A.B.I. Publishing New York.
8. Schlegel, Hans G. dan Karin Schmidt. 1994. *Mikrobiologi Umum Edisi keenam*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
9. Setiawati, Made Diah. 2011. Uji Potensi Konsorsium Bakteri Selulotik (*Spodoptera litura*) sebagai Bio-Toilet pada Degradasi Feses Sapi. *Skripsi*. Surabaya: Universitas Airlangga.
10. Yanti, Novi. 2011. Pengaruh Penambahan Volume Bakteri *Pseudomonas flourescens* Terhadap Voltase Sel Bakar Mikroba. *Skripsi*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
11. Lehninger, Albert L. 1994. *Dasar-dasar Biokimia Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.