



Bioelectricity of Various Carbon Sources on Series Circuit from Microbial Fuel Cell System using *Lactobacillus plantarum*

Mufid Ainun^a, Linda Suyati^{a*}

^a Physical Chemistry Laboratory, Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang

* Corresponding author: linda_suyati@live.undip.ac.id

Article Info

Keywords:

Carbon source,
 Microbial Fuel Cell,
Lactobacillus plantarum, series circuit

Kata Kunci:

Sumber karbon,
 Microbial fuel cell,
Lactobacillus plantarum, rangkaian seri

Abstract

Study on bioelectricity various carbon sources on the circuit series Microbial Fuel Cell using *Lactobacillus plantarum* has been conducted. This study aims to determine the electrical energy generated by various types of substrates in MFC and determine the effect of a series circuit of the electrical energy produced using *Lactobacillus plantarum*. The research stage consisted of preparation stages MFC components, electrical power measurements on variations in the type of substrate, and the measurement of electrical power in series circuit variation. Electrical power measurements were performed on a variety of substrate types by comparing the electrical power generated by the fructose, lactose and starch substrates while the electric power measurements with series variations are used in single series, series 2 and series 3. The results of the maximum electrical power measurement on the variation of fructose, lactose and starch substrate in MFC system using *Lactobacillus plantarum* were obtained respectively 10,26 mW; 63 mW and 27.47 mW. The maximum electric power generated in the MFC system uses *Lactobacillus plantarum* in a single circuit, series 2, series 3 series with lactose substrate obtained respectively of 63 mW, 164.74 mW and 290.51 mW. The measurement of electrical power showed that the lactose substrate produces a greater power than the other substrates. Series circuit capable of increasing electrical power in MFC system.

Abstrak

Penelitian tentang bioelektrisitas berbagai sumber karbon pada rangkaian seri sistem *Microbial Fuel Cell* menggunakan *Lactobacillus plantarum* telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan energi listrik yang dihasilkan oleh berbagai jenis substrat dalam sistem MFC dan menentukan pengaruh rangkaian seri terhadap energi listrik yang dihasilkannya menggunakan *Lactobacillus plantarum*. Tahapan penelitian meliputi preparasi komponen MFC, pengukuran daya listrik pada variasi jenis substrat, dan pengukuran daya listrik pada variasi rangkaian seri. Pengukuran daya listrik pada variasi jenis substrat yaitu membandingkan antara daya listrik yang dihasilkan oleh substrat fruktosa, laktosa dan amilum sedangkan pengukuran daya listrik dengan variasi rangkaian seri digunakan rangkaian tunggal, seri 2 dan seri 3. Hasil pengukuran daya listrik maksimum pada variasi substrat fruktosa, laktosa dan amilum dalam sistem MFC menggunakan *Lactobacillus plantarum* berturut-turut sebesar 10,26 mW; 63 mW dan 27,47 mW. Daya listrik maksimum yang dihasilkan dalam sistem MFC menggunakan *Lactobacillus plantarum* pada rangkaian tunggal, rangkaian seri 2, rangkaian seri 3 dengan substrat laktosa secara berturut-turut sebesar 63 mW, 164,74 mW dan 290,51 mW. Pengukuran daya listrik tersebut menunjukkan bahwa substrat laktosa menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan substrat yang lain. Rangkaian seri mampu meningkatkan daya listrik pada sistem MFC.

1. Pendahuluan

Senyawa organik di alam menyimpan sejumlah energi yang besar dalam bentuk biomassa, namun belum dieksplorasi secara optimal dan menjadi objek degradasi mikroba. Salah satu cara untuk mengeksplorasi substrat biologis ini adalah dengan mendegradasinya untuk pembangkitan listrik menggunakan sel bahan bakar mikroba atau *microbial fuel cell* (MFC). MFC memanfaatkan aktivitas katabolik dari sel-sel hidup (biokatalis) untuk mengubah energi kimia menjadi listrik [1].

Teknologi *microbial fuel cell* (MFC) adalah pendekatan yang menjanjikan untuk menghasilkan bioelektrisitas dari biomassa menggunakan mikroba [2]. Permintaan energi saat ini telah membuat khawatir seluruh dunia dan MFC ini telah menjadi kajian yang menarik didalam kalangan ilmuwan sebagai salah satu cara untuk menghasilkan bioenergi atau hidrogen dari biomassa tanpa menimbulkan masalah pencemaran lingkungan. Jenis mikroba di ruang anodik, bentuk sel bahan bakar MFC dan kondisi operasi mempengaruhi faktor-faktor tertentu seperti power output dan efisiensi coulomb [3].

Pengembangan sel bahan bakar mikroba masih dalam masa pertumbuhan dengan kebutuhan perbaikan yang cukup sehubungan dengan output daya dan substrat yang mudah dijangkau [4, 5]. Senyawa organik di alam dapat berupa senyawa molekul rendah hingga senyawa makromolekul. Senyawa-senyawa tersebut yaitu monosakarida seperti fruktosa, disakarida seperti laktosa, dan bahkan karbohidrat kompleks seperti pati (amilum). Choi dkk memanfaatkan fruktosa, laktosa, dan pati sebagai sumber karbon dengan biokatalis bakteri *Micrococcus luteus* [6].

Teknologi ini mengubah energi yang tersimpan dalam senyawa organik menjadi energi listrik melalui reaksi katalitik mikroorganisme. Hal ini telah menarik perhatian banyak peneliti di bidang sains. Dalam eksperimen terbaru, *microbial fuel cell* menggunakan kultur murni menunjukkan hasil pembangkitan tenaga listrik yang dicapai tidak sama dengan menggunakan kultur campuran. MFC dioperasikan dengan menggunakan kultur bakteri campuran mencapai kerapatan arus yang lebih besar dibandingkan dengan kultur murni [7].

Analisis populasi bakteri dari mikroorganisme yang ada di MFC sejauh ini telah diteliti dengan jenis bakteri yang bervariasi [3]. Fernandez dan Vega telah menggunakan *Lactobacillus plantarum*, *Streptococcus lactis*, and *Erwinia dissolvens* dalam sistem MFC menggunakan substrat glukosa [8] dan *Lactobacillus bulgaricus* juga telah digunakan dalam sistem MFC oleh Arbianti [9]. Penelitian tersebut telah menunjukkan bahwa jenis bakteri asam laktat (BAL) memiliki potensi sebagai biokatalisator untuk aplikasi MFC.

Kinerja MFC dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain substrat, membran penukar proton, kecepatan degradasi substrat, kecepatan transfer proton dan elektron dalam larutan serta rangkaian listrik [10].

Sistem MFC dengan rangkaian seri berkaitan dengan besar tegangan yang dihasilkan, dengan rangkaian seri akan menghasilkan tegangan lebih besar dibanding dengan rangkaian tunggal [9].

Penggunaan rangkaian seri sudah dilakukan oleh Jafary dkk menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* dan glukosa sebagai substrat dengan nafion 117 sebagai *proton exchange membrane* (PEM) mampu menghasilkan beda potensial maksimum sebesar 0,8 V pada rangkaian tunggal, dan beda potensial maksimum sebesar 1,2 V pada rangkaian seri [11]. Berdasarkan penelitian Jafary dkk tersebut menunjukkan bahwa rangkaian seri dapat meningkatkan beda potensial.

Dari uraian tersebut di atas maka pada penelitian ini menggunakan fruktosa, laktosa, dan amilum sebagai substrat yang juga berfungsi sebagai sumber karbon di kompar temen anoda untuk produksi bioelektrisitas dan mikroba jenis *Lactobacillus plantarum* sebagai biokatalisator dan menentukan pengaruh rangkaian seri terhadap energi listrik yang dihasilkan dalam sistem MFC tersebut.

2. Metode Penelitian

Preparasi Mikroorganisme *Lactobacillus plantarum*

Preparasi mikroorganisme dilakukan dengan menginokulasikan 1 mL bibit *Lactobacillus plantarum* dari stock ke dalam 100 mL media MRS (deMan Rogosa and Sharpe). Media MRS yang telah diinokulasi bibit mikroba diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C.

Uji Karbohidrat pada Substrat

Uji karbohidrat digunakan metode uji seliwanooff untuk fruktosa, uji fehling untuk laktosa dan uji iod untuk amilum. Pada uji seliwanooff, satu buah tabung reaksi diisi dengan beberapa tetes larutan fruktosa, kemudian larutan ditambah dengan 5 mL pereaksi Seliwanooff. Uji fehling dilakukan dengan cara menambahkan pereaksi fehling yang terdiri dari fehling A yaitu larutan CuSO_4 dan fehling B yang terdiri dari K-Na-tartrat dan NaOH ke dalam larutan, kemudian dipanaskan sambil digoyang. Pada uji iod, 1 mL larutan amilum ditambahkan dengan 5 tetes larutan iodin.

Konstruksi MFC

Kompartemen MFC yang digunakan dalam penelitian ini adalah dua ruang kompartemen dengan volume masing-masing sebanyak 100 mL. Kedua kompartemen ini dihubungkan dengan jembatan garam. Elektroda yang digunakan adalah grafit dengan luas permukaan 13,29 cm^2 .

Pengukuran Energi Listrik Pada Variasi Substrat

Substrat yang digunakan adalah 80 mL fruktosa, laktosa, dan amilum dengan konsentrasi masing-masing 0,8% (w/v). Substrat untuk eksperimen ditempatkan dalam kompartemen anoda dan ditambahkan 20 μL inokulum *Lactobacillus plantarum* serta 20 mL buffer fosfat 0,2 M pH 7. Untuk kompartemen katoda berisi 80 mL larutan KMnO_4 0,2 M yang ditambahkan dengan 20 mL buffer fosfat 0,2 M pH

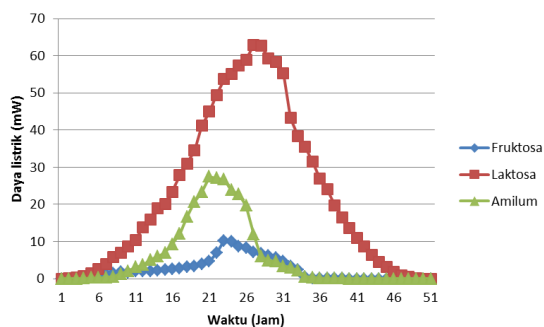
7. Kedua kompartemen diisi dengan elektroda grafit yang dihubungkan dengan rangkaian kabel pada multimeter digital, kemudian dilakukan pengamatan beda potensial dan arus listrik yang dihasilkan setiap jam selama 50 jam. Dan selanjutnya dilakukan pengukuran pada rangkaian seri 2 dan rangkaian seri 3.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengukuran Daya Listrik pada Variasi Jenis Substrat

Pada penelitian ini, kompartemen anoda dioperasikan tanpa menggunakan mediator elektron (*mediatorless*), dimana elektron yang dihasilkan dari degradasi senyawa organik oleh mikroba disalurkan secara langsung menuju elektroda tanpa melalui bantuan zat kimia tambahan. Beda potensial yang diukur dalam penelitian MFC ini disebut juga dengan *Open Circuit Voltage* (Tegangan Sirkuit Terbuka) karena sirkuit listrik dalam sistem MFC ini tidak diberikan beban atau hambatan listrik eksternal seperti resistor atau lampu.

Data kuat arus dan beda potensial yang diperoleh diolah untuk mendapatkan nilai daya listrik yang dapat mewakili produksi listrik yang dihasilkan oleh sistem MFC.



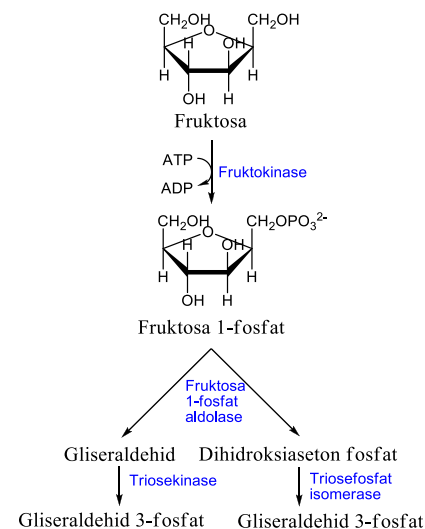
Gambar 1. Beda potensial variasi substrat

Berdasarkan data yang tersaji pada gambar 1 terlihat bahwa ketiga substrat yang digunakan yaitu fruktosa, laktosa dan amilum mampu menghasilkan energi listrik (daya). Daya maksimum untuk substrat fruktosa dihasilkan pada jam ke 22 sebesar 10,26 mW, untuk substrat laktosa daya maksimum dihasilkan pada jam ke 26 sebesar 63 mW, sedangkan amilum daya maksimum dihasilkan pada jam ke 20 yaitu sebesar 27,47.

Perbedaan waktu dari ketiga substrat untuk mencapai daya maksimum ini dipengaruhi oleh kekompleksan struktur molekul dan kemampuan *Lactobacillus plantarum* dalam mengkonsumsi ketiga substrat ini. Fruktosa adalah bentuk gula yang paling sederhana dibandingkan dengan ketiga substrat lainnya karena merupakan monosakarida, namun menghasilkan daya yang paling rendah. Hal ini disebabkan karena kemampuan *Lactobacillus plantarum* dalam menghasilkan enzim fruktokinase kurang.

Fruktosa dimetabolisme melalui perubahan menjadi zat antara glikolisis. Pertama, enzim fruktokinase melakukan fosforilasi terhadap fruktosa.

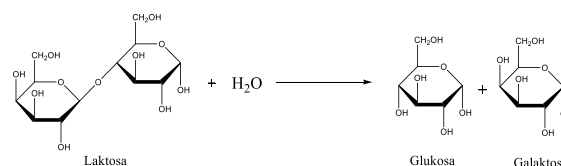
Fruktosa 1-fosfat diputuskan oleh enzim fruktosa 1-fosfat aldolase menjadi dihidroksiaseton fosfat dan gliseraldehida, dan gliseraldehida mengalami fosforilasi oleh suatu enzim triosa kinase. Baik dihidroksiaseton fosfat maupun gliseraldehida 3-fosfat adalah zat antara pada jalur glikolitik dan dapat masuk ke dalam jalur tersebut untuk menjadi piruvat sebagaimana tersaji pada gambar 2.



Gambar 2. Reaksi metabolisme fruktosa

Piruvat hasil dari penguraian fruktosa dalam reaksi glikolisis selanjutnya masuk ke dalam siklus kreb, kemudian dilanjutkan ke rantai transfer elektron dan fosforilasi oksidatif menghasilkan sejumlah elektron dan ATP.

Amilum adalah polisakarida yang terdiri dari banyak glukosa, sehingga mikroba membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mengkonsumsinya karena harus memecah amilum menjadi maltosa dan dekstrin-dekstrin terlebih dahulu dengan bantuan enzim α -amilase. Namun, ini hanya terjadi pada fase awal reaksi metabolisme karena pada tahap selanjutnya amilum telah dipecah menjadi glukosa sehingga lebih mudah dikonsumsi oleh bakteri *Lactobacillus plantarum*. Glukosa hasil hidrolisis tersebut akan diuraikan menjadi piruvat melalui reaksi glikolisis yang selanjutnya masuk ke siklus kreb dan diteruskan ke dalam rantai transfer elektron dan fosforilasi oksidatif menghasilkan sejumlah elektron dan proton.

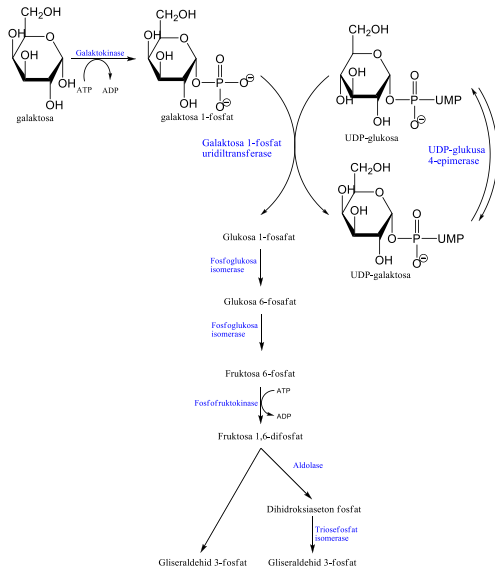


Gambar 3. Reaksi hidrolisis laktosa

Daya listrik tertinggi dihasilkan oleh substrat yang ketiga yaitu laktosa. Laktosa merupakan gula bentuk disakarida dan jenis gula yang mudah dimetabolisme oleh bakteri asam laktat seperti *Lactobacillus plantarum*, sehingga akan sangat mudah dalam mengkonsumsinya. Pada proses metabolisme, laktosa akan dihidrolisis

menjadi molekul sederhana yaitu glukosa dan galaktosa dengan bantuan enzim laktase (gambar 3).

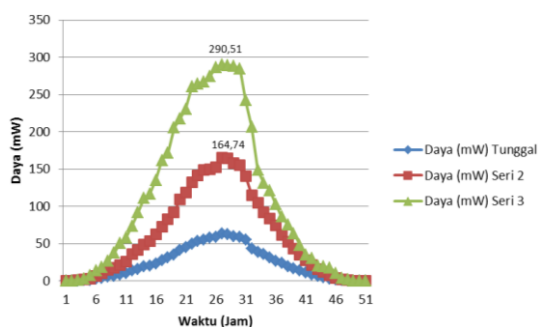
Galaktosa difosforilasi menjadi galaktosa 1-fosfat dengan bantuan enzim galaktokinase dan dapat diubah menjadi glukosa 1-fosfat. Kemudian glukosa 1-fosfat diubah menjadi glukosa 6-fosfat dan selanjutnya masuk ke jalur glikolitik (gambar 4)



Gambar 4. Reaksi metabolisme galaktosa

Daya Listrik pada Variasi Rangkaian Seri

Substrat yang menghasilkan daya listrik tertinggi, yaitu laktosa, selanjutnya dilakukan pengukuran daya listrik pada variasi rangkaian seri. Tujuannya adalah menentukan pengaruh rangkaian seri terhadap energi listrik yang dihasilkan. Jenis rangkaian yang digunakan pada sistem MFC ini adalah rangkaian tunggal, rangkaian seri 2 dan rangkaian seri 3.



Gambar 5. Daya listrik substrat laktosa pada variasi rangkaian seri

Pengukuran beda potensial dan arus listrik pada penelitian ini menggunakan sistem Open Circuit Voltage (Tegangan Sirkuit Terbuka), dimana dalam sistem MFC ini tidak diberi beban atau hambatan listrik eksternal seperti lampu atau resistor. Data kuat arus dan beda potensial yang diperoleh tersebut diolah untuk mendapatkan nilai daya yang dapat mewakili produksi listrik yang dihasilkan sistem oleh sistem MFC.

Berdasarkan gambar 5 menunjukkan bahwa daya listrik yang dihasilkan pada rangkaian seri dengan

rangkaian tunggal berbeda. Daya listrik maksimum yang dihasilkan pada rangkaian tunggal, seri 2 dan seri 3 berturut-turut adalah 63 mW; 164,74 mW; dan 290,51 mW pada jam ke 26. Rangkaian seri merupakan gabungan dari rangkaian tunggal sehingga nilai beda potensialnya pun lebih besar dari rangkaian tunggal, maka akan meningkatkan daya listrik maksimum yang dihasilkan juga.

4. Kesimpulan

Energi listrik maksimum yang dihasilkan pada variasi substrat fruktosa, laktosa dan amilum dalam sistem MFC menggunakan *Lactobacillus plantarum* berturut-turut sebesar 10,26 mW; 63 mW dan 27,47 mW. Rangkaian seri mampu meningkatkan daya listrik pada sistem MFC, dimana pada rangkaian tunggal, rangkaian seri 2, rangkaian seri 3 dengan substrat laktosa secara berturut-turut sebesar 63 mW; 164,74 mW dan 290,51 mW.

5. Daftar Pustaka

- [1] Juliane Niessen, Uwe Schröder, Fritz Scholz, Exploiting complex carbohydrates for microbial electricity generation – a bacterial fuel cell operating on starch, *Electrochemistry Communications*, 6, 9, (2004) 955-958 <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2004.07.010>
- [2] Bruce E. Logan, Bert Hamelers, René Rozendal, Uwe Schröder, Jürg Keller, Stefano Freguia, Peter Aelterman, Willy Verstraete, Korneel Rabaey, Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology, *Environmental Science & Technology*, 40, 17, (2006) 5181-5192 <http://doi.org/10.1021/es0605016>
- [3] Zhuwei Du, Haoran Li, Tingyue Gu, A state of the art review on microbial fuel cells: A promising technology for wastewater treatment and bioenergy, *Biotechnology Advances*, 25, 5, (2007) 464-482 <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.05.004>
- [4] Farida Zulfah Fitriani, Linda Suyati, Wasino Hadi Rahmanto, Pengaruh Konsentrasi Substrat Maltosa terhadap Potensial Listrik Baterai *Lactobacillus bulgaricus* (MFC), *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 20, 2, (2017) 74-78 <http://dx.doi.org/10.14710/jksa.20.2.74-78>
- [5] Desvita Sari, Linda Suyati, Didik Setiyo Widodo, Pengaruh Buffer Kalium Fosfat dan Natrium Fosfat terhadap Produksi Listrik dalam Sistem Microbial Fuel Cell (MFC) dengan *Lactobacillus bulgaricus* pada Whey Tahu, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 19, 3, (2016) 107-110 <http://dx.doi.org/10.14710/jksa.19.3.107-110>
- [6] Youngjin Choi, Eunyoung Jung, Hyunjoon Park, Seunho Jung, Sunghyun Kim, Effect of Initial Carbon Sources on the Performance of a Microbial Fuel Cell Containing Environmental Microorganism *Micrococcus luteus*, *Bulletin of the Korean Chemical Society*, 28, 9, (2007) 1591-1594
- [7] Vanita Roshan Nimje, Chien-Yen Chen, Hau-Ren Chen, Chien-Cheng Chen, Yuh Ming Huang, Min-Jen Tseng, Kai-Chien Cheng, Young-Fo Chang, Comparative bioelectricity production from various wastewaters in microbial fuel cells using mixed cultures and a pure strain of *Shewanella oneidensis*,

- Bioresource Technology*, 104, (2012) 315-323
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.09.129>
- [8] Carmen A. Vega, Ivonne Fernández, Mediating effect of ferric chelate compounds in microbial fuel cells with *Lactobacillus plantarum*, *Streptococcus lactis*, and *Erwinia dissolvens*, *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 17, 2, (1987) 217-222
[https://doi.org/10.1016/0302-4598\(87\)80026-0](https://doi.org/10.1016/0302-4598(87)80026-0)
- [9] Rita Arbianti, Tania Utami, Heri Hermansyah, Deni Novitasari, Ester Kristin, Ira Trisnawati, Performance Optimization of Microbial Fuel Cell (MFC) Using *Lactobacillus bulgaricus*, *Makara Journal of Technology*, 17, 1, (2013) 32-38
<http://doi.org/10.7454/mst.v17i1.1925>
- [10] Hong Liu, Shaoan Cheng, Bruce E. Logan, Production of Electricity from Acetate or Butyrate Using a Single-Chamber Microbial Fuel Cell, *Environmental Science & Technology*, 39, 2, (2005) 658-662 <http://doi.org/10.1021/es048927c>
- [11] Tahere Jafary, Mostafa Rahimnejad, Ali Asghar Ghoreyshi, Ghasem Najafpour, Fahime Hghparast, Wan Ramli Wan Daud, Assessment of bioelectricity production in microbial fuel cells through series and parallel connections, *Energy Conversion and Management*, 75, (2013) 256-262
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.06.032>