

Effect of Series Circuit on the Lactose Bioelectricity of a Microbial Fuel Cell System using *Lactobacillus bulgaricus*

Dini Noor Hayati¹, Rahmad Nuryanto¹, Linda Suyati^{1,*}

¹Physical Chemistry Laboratory, Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jl. Prof. Sudharto SH, Kampus Tembalang, Semarang 50275 (Telp/fax 024-76480824)

*Corresponding author's email: linda_s@undip.ac.id, lindasuyati15@gmail.com

ABSTRACT

The need for alternative energy, especially electricity at this time is increasing. The decreasing amount of fuel that cannot be updated, encouraging scientists to conduct researches in finding alternative energy sources which are environmentally friendly, one of the alternative energy is the Microbial Fuel Cell (MFC). The research on the effects of a series circuit on the production of lactose bioelectricity *microbial fuel cell* system using *Lactobacillus bulgaricus* has been conducted. This study aim was to assess the effect on the production series circuit lactose bioelectricity MFC system using microbes *Lactobacillus bulgaricus*. Stages of research included a microorganism preparation of *Lactobacillus bulgaricus*, and measuring the potential difference in a single, series 1 and series 2 circuits in the MFC system. The potential difference on the measurement of a single, series 1 and series 2 on the substrate lactose were 45 mV / 100mL; 57 mV / 100mL; 58 mV / 100mL respectively where the power were 105.75×10^{-6} mW; 136×10^{-6} mW; 139.2×10^{-6} mW. These results suggested that series circuit was able to increase the potential difference and power on the substrate lactose and tofu whey the MFC system according to Ohm's law.

Keywords: Lactose, microbial fuel cell, *Lactobacillus bulgaricus*, a series circuit

ABSTRAK

Kebutuhan akan energi alternatif khususnya energi listrik pada saat ini semakin meningkat. Semakin berkurangnya jumlah bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui mendorong para ilmuwan untuk melakukan penelitian dalam menemukan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, salah satu energi alternatif yaitu *Microbial Fuel Cell* (MFC). Penelitian tentang pengaruh rangkaian seri pada produksi bioelektrisitas laktosa sistem *microbial fuel cell* menggunakan *Lactobacillus bulgaricus* telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh rangkaian seri pada produksi bioelektrisitas laktosa sistem MFC dengan menggunakan mikroba *Lactobacillus bulgaricus*. Tahapan penelitian meliputi preparasi mikroorganisme *Lactobacillus bulgaricus*, dan pengukuran beda potensial pada rangkaian tunggal, rangkaian seri 1 dan rangkaian seri 2 pada sistem MFC. Hasil penelitian pengukuran pada rangkaian tunggal, seri 1 dan seri 2 pada substrat laktosa secara berturut-turut sebesar 45 mV/100mL; 57 mV/100mL; 58 mV/100mL sebagai beda potensial dan $105,75 \times 10^{-6}$ mW; 136×10^{-6} mW; $139,2 \times 10^{-6}$ mW sebagai daya, Hasil tersebut menunjukkan bahwa rangkaian seri mampu meningkatkan beda potensial pada substrat laktosa pada sistem MFC yang sesuai dengan hukum Ohm.

Kata kunci: Laktosa, *Microbial fuel cell*, *Lactobacillus bulgaricus*, rangkaian seri

Pendahuluan

Kebutuhan akan energi alternatif khususnya energi listrik pada saat ini semakin meningkat. Semakin berkurangnya jumlah bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui mendorong para ilmuwan untuk melakukan penelitian dalam menemukan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Salah satu energi alternatif yang sedang dikembangkan adalah *Microbial fuel cell*. MFC mempunyai berbagai kelebihan dibandingkan dengan energi listrik alternatif lainnya, diantaranya memiliki tingkat efisiensi yang tinggi, tidak dibutuhkannya energi input, dan dapat diaplikasikan pada berbagai tempat yang memiliki infrastruktur listrik yang kurang [1].

Microbial fuel cell (MFC) adalah sistem bioelektrokimia yang dapat membangkitkan listrik dari materi substrat organik dengan bantuan katalisis mikroorganisme [2]. Bioelektrisitas adalah energi listrik yang berasal dari makhluk hidup [3]. Bioelektrisitas pada penelitian ini berasal dari hasil aktivitas metabolisme mikroba *Lactobacillus bulgaricus*. MFC terdiri dari anoda, katoda, *proton exchange membrane* (PEM), dan rangkaian listrik luar atau sirkuit eksternal [4]. Pada anoda berisi mikroba yang telah dikultur dan buffer kalium fosfat pH 7, sedangkan pada katoda berisi elektrolit KMnO_4 dan buffer kalium fosfat pH 7. Mikroba pada sistem MFC berupa mikroba anaerob yang menghasilkan elektron dan proton dari hasil aktivitas metabolismenya. Pada kompartemen anoda terjadi reaksi oksidasi dimana substrat dioksidasi oleh mikroba menghasilkan proton dan elektron, sedangkan pada kompartemen katoda terjadi reaksi reduksi pada larutan KMnO_4 . Elektron ditransfer dari anoda ke katoda melalui sirkuit eksternal, sedangkan proton berdifusi dari anoda ke katoda melalui PEM. Pada katoda reaksi proton dan elektron terhadap oksigen akan menghasilkan air [5].

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 [6-8]. Sistem MFC dengan rangkaian seri berkaitan dengan besar tegangan yang dihasilkan, dengan rangkaian seri akan menghasilkan tegangan maksimum [9],

akan tetapi pada rangkaian seri memiliki daya yang lebih kecil daripada rangkaian paralel [3].

Sumber kinerja MFC juga dipengaruhi oleh substrat. Substrat yang digunakan pada penelitian ini adalah laktosa. Laktosa yang merupakan disakarida yang terdiri dari glukosa dan galaktosa [10].

Mikroba yang digunakan pada penelitian ini adalah *Lactobacillus bulgaricus*. *Lactobacillus bulgaricus* merupakan bakteri asam laktat, tumbuh pada suhu optimum 30°C - 40°C . Bakteri ini mudah ditemukan pada yoghurt dan mudah ditumbuhkan [2]. Penggunaan bakteri *Lactobacillus bulgaricus* masih terbatas. Inayati [11] menggunakan bakteri *Lactobacillus bulgaricus* dan whey tahu, glukosa, dan laktosa sebagai substrat dengan menggunakan jembatan garam *proton exchange membrane* (PEM). Pada penelitian tersebut yang diukur adalah beda potensial yang dihasilkan pada substrat whey tahu, glukosa, dan laktosa. Pada substrat whey tahu mampu menghasilkan beda potensial maksimum sebesar $25,5\text{mV}/100\text{mL}$, glukosa mampu menghasilkan beda potensial maksimum sebesar $24,3\text{mV}/100\text{mL}$, dan laktosa mampu menghasilkan beda potensial maksimum sebesar $27,2\text{mV}/100\text{mL}$ dengan menggunakan rangkaian listrik tunggal. Berdasarkan penelitian Inayati [11] dapat dijadikan acuan bahwa bakteri *Lactobacillus bulgaricus* dapat menghasilkan beda potensial dengan menggunakan substrat laktosa.

Penggunaan rangkaian seri sudah dilakukan oleh Arbianti [12] menggunakan *Lactobacillus bulgaricus* dan glukosa sebagai substrat dengan nafion 117 sebagai *proton exchange membrane* (PEM) mampu menghasilkan beda potensial maksimum sebesar $200,7\text{mV}$ pada rangkaian tunggal, dan beda potensial maksimum sebesar $685,5\text{mV}$ pada rangkaian seri. Berdasarkan penelitian Arbianti [12] menunjukkan bahwa rangkaian seri dapat meningkatkan beda potensial.

Penggunaan laktosa dengan menggunakan bakteri *Lactobacillus bulgaricus* pada rangkaian seri belum diteliti, sehingga pada penelitian menggunakan laktosa sebagai substrat pada rangkaian seri sistem MFC menggunakan mikroba *Lactobacillus bulgaricus* untuk melihat seberapa besar energi listrik yang bisa dihasilkan oleh sistem MFC ini.

Penggunaan rangkaian seri pada penelitian ini diharapkan akan menghasilkan tegangan listrik yang maksimum yang sesuai dengan hukum Ohm.

Metodologi

Bahan dan Alat

Bahan. Kultur mikroba *Lactobacillus bulgaricus*, laktosa 0,390%, susu sapi, susu kedelai, agar 5 g, grafit, akuades, NaOH 1M, HCl 1M, KCl 1M, KMnO_4 0,2M, alkohol 70%, buffer kalium fosfat 0,2M pH 7.

Alat. Reaktor MFC, multimeter digital Masda DT830B, kabel dan jepit buaya, timbangan digital, inkubator, autoklaf, inkas, kertas pH, seperangkat alat gelas laboratorium, pipet mikro, aluminium foil, plastik wrap.

Preparasi Komponen MFC

Konstruksi MFC

Kompartemen MFC yang digunakan dalam penelitian ini adalah dua kompartemen yang terdiri dari anoda dan katoda dengan volume masing-masing 100 mL. Kedua kompartemen ini dihubungkan dengan jembatan garam. Pembuatan jembatan garam dilakukan dengan menambahkan 5% agar (w/v) ke dalam larutan KCl 1M, kemudian dipanaskan dan dimasukkan kedalam pipa U. KCl berfungsi sebagai tempat berdifusi proton dari anoda ke katoda. Elektroda yang digunakan dalam sistem MFC ini adalah grafit dari baterai bekas. Sebelum digunakan, grafit harus dibersihkan dan diaktifkan terlebih dahulu. Elektroda direndam dalam larutan HCl 1M selama 1 hari kemudian dibilas dengan akuades. Selanjutnya elektroda direndam dalam larutan NaOH 1M selama 1 hari dan dibilas dengan akuades. Elektroda direndam dalam larutan akuades hingga saat digunakan.

Preparasi Elektrolit KMnO_4 0,2M

Larutan KMnO_4 0,2M dengan penambahan 20 mL buffer kalium fosfat 0,2 M pH 7 diisi ke dalam kompartemen katoda dan dijaga agar tidak terkena cahaya matahari.

Preparasi Mikroorganisme *Lactobacillus bulgaricus*

Preparasi mikroorganisme dilakukan dengan menginokulasikan 1% bibit *Lactobacillus bulgaricus* dalam susu sapi yang telah dipasteurisasi. 99 mL Susu sapi yang telah diinokulasi bibit mikroba diinkubasi selama 24 jam pada suhu 40°C. Proses inkubasi ini akan menghasilkan 2 bagian yaitu bagian padat dan bagian cair. Bagian cair digunakan sebagai starter berikutnya. Tahap selanjutnya 1 % *Lactobacillus bulgaricus* diinokulasikan pada 99 mL media susu kedelai yang telah dipasteurisasi dan kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu 40°C, selanjutnya dilakukan hal yang sama pada media laktosa. Starter mikroba dalam laktosa inilah yang akan digunakan dalam kompartemen anoda pada sistem MFC.

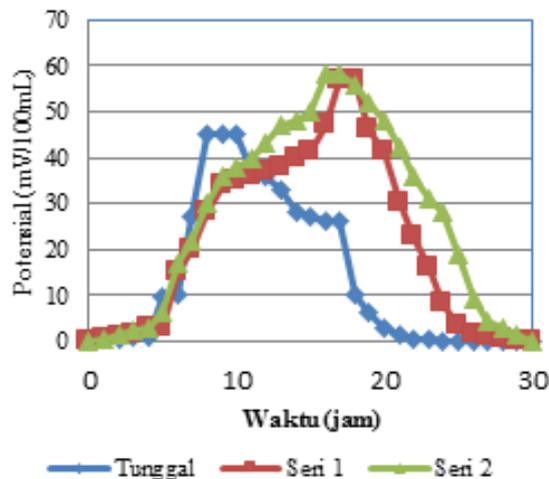
Pengukuran Beda Potensial Pada Variasi Rangkaian Seri

Substrat yang digunakan adalah laktosa. Substrat ini ditempatkan dalam kompartemen anoda dan ditambahkan inokulum *Lactobacillus bulgaricus*. Larutan KMnO_4 0,2M 80 mL terdapat pada kompartemen katoda yang ditambah dengan 20 mL buffer fosfat pH 7. Kompartemen anoda dan katoda diisi dengan elektroda grafit, kemudian elektroda grafit pada masing-masing kompartemen dihubungkan dengan rangkaian kabel tunggal, seri 1 dan seri 2 pada multimeter digital. Rangkaian seri 1 merupakan rangkaian yang tersusun dari dua pasang kompartemen MFC secara seri, sedangkan rangkaian seri 2 merupakan rangkaian yang tersusun dari tiga pasang kompartemen MFC secara seri. Langkah selanjutnya pengamatan beda potensial dan arus listrik yang dihasilkan setiap jam, pada substrat laktosa pengamatan beda potensial dan arus listrik diamati setiap jam selama 30 jam. Dari data beda potensial dan arus listrik yang dihasilkan akan diperoleh energi listrik (daya).

Hasil dan Pembahasan

Beda Potensial pada Variasi Rangkaian Seri

Hasil pengukuran beda potensial untuk variasi rangkaian seri pada substrat laktosa dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Beda potensial MFC pada variasi rangkaian seri pada substrat laktosa

Berdasarkan gambar 1 menunjukkan bahwa beda potensial pada rangkaian seri dengan rangkaian tunggal berbeda. Pada rangkaian tunggal dihasilkan beda potensial maksimum pada jam ke 8, 9, dan 10 sebesar 45 mV/100mL dengan kuat arus maksimum sebesar 2,35 μ A pada hambatan sebesar 2,3 Ω , sedangkan pada rangkaian seri 1 memiliki dihasilkan beda potensial maksimum pada jam ke 17 dan 18 sebesar 57 mV/100mL dengan kuat arus maksimum sebesar 2,4 μ A pada hambatan sebesar 2,3 Ω , sedangkan pada rangkaian seri 2 dihasilkan beda potensial maksimum pada jam ke 16 dan 17 sebesar 58 mV/100mL dengan kuat arus maksimum sebesar 2,4 μ A pada hambatan sebesar 2,3 Ω . Nilai arus yang dihasilkan pada penelitian ini sesuai dengan hukum Ohm yaitu besarnya arus berbanding terbalik dengan besarnya hambatan.

Pada rangkaian tunggal sistem MFC ini mengalami peningkatan profil beda potensial pada jam ke 5 sedangkan pada rangkaian seri mengalami peningkatan profil beda potensial pada jam ke 3, hal ini dikarenakan pada rangkaian seri mempunyai jumlah maksimum sel yang lebih besar dibanding pada rangkaian tunggal sehingga substrat laktosa pada rangkaian seri lebih cepat terdegradasi.

Kinetika pertumbuhan bakteri terdiri dari empat fase, antara lain fase lag, fase eksponensial, fase stasioner, dan fase kematian. Fase lag merupakan waktu yang dibutuhkan mikroba untuk beradaptasi di dalam

medium baru. Hal ini dilakukan untuk mensintesis enzim-enzim yang dibutuhkan untuk pertumbuhan lebih lanjut. Fase eksponensial merupakan waktu yang dibutuhkan sel mikroba untuk membelah menjadi dua sel. Fase stasioner merupakan waktu dimana jumlah pembelahan sel mikroba dengan sel yang mati seimbang. Fase kematian merupakan waktu dimana berkurangnya nutrisi dalam medium dan meningkatnya akumulasi zat toksik (CO_2 dan amoniak) dalam medium.

Kinetika pertumbuhan bakteri menggunakan substrat laktosa dalam sistem MFC ini, fase lag pada rangkaian tunggal terjadi pada jam ke nol hingga jam ke 4, pada rangkaian seri 1, fase lag terjadi pada jam ke nol hingga jam ke 1, sedangkan pada rangkaian seri 2, fase lag terjadi pada jam ke nol hingga jam ke 1.

Fase eksponensial pada sistem MFC ini menggunakan substrat laktosa pada rangkaian tunggal terjadi pada jam ke 5 hingga jam ke 7, pada rangkaian seri 1 terjadi fase eksponensial pada jam ke 2 hingga jam ke 16, sedangkan pada rangkaian seri 2 fase eksponensial terjadi pada jam ke 2 hingga jam ke 15.

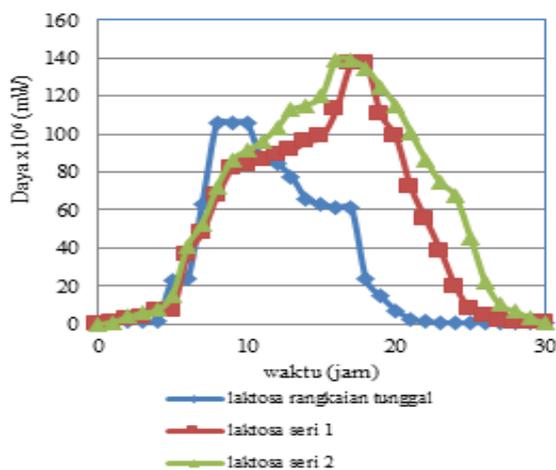
Fase stasioner pada sistem MFC menggunakan substrat laktosa pada rangkaian tunggal terjadi pada jam ke 8 hingga jam ke 10, pada rangkaian seri 1 fase stasioner terjadi pada jam ke 17 hingga jam ke 18, sedangkan pada rangkaian seri 2 fase stasioner terjadi pada jam ke 16 hingga jam ke 17. Fase terakhir pada kinetika pertumbuhan bakteri yaitu fase kematian. Fase kematian pada sistem MFC menggunakan substrat laktosa pada rangkaian tunggal terjadi pada jam ke 11 hingga jam ke 30, pada rangkaian seri 1 fase kematian terjadi pada jam ke 19 hingga jam ke 30, sedangkan pada rangkaian seri 2 fase kematian terjadi pada jam ke 18 hingga jam ke 30.

Beda potensial rangkaian seri lebih besar dibanding pada rangkaian tunggal. Hal ini disebabkan oleh rangkaian tunggal yang disusun secara seri ataupun paralel akan meningkatkan beda potensial, arus dan daya [12]. Rangkaian seri merupakan gabungan dari rangkaian tunggal sehingga nilai beda potensialnya pun lebih besar dari rangkaian tunggal. Pada rangkaian seri 2 memiliki beda potensial lebih besar

dari rangkaian seri 1. Hal ini dikarenakan pada rangkaian seri 2 memiliki jumlah kompartemen yang lebih banyak dibanding dengan rangkaian seri 1 sehingga beda potensial yang dihasilkan pada rangkaian seri 2 lebih besar daripada rangkaian seri 1.

Daya pada Variasi Rangkaian Seri dengan Substrat Laktosa

Hasil daya menggunakan substrat laktosa pada variasi rangkaian seri dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Daya pada substrat laktosa pada variasi rangkaian seri

Berdasarkan gambar 3 menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan menggunakan substrat laktosa pada rangkaian tunggal sebesar $105,75 \cdot 10^{-6} \text{mW}$, daya yang dihasilkan pada rangkaian seri 1 sebesar $136,8 \cdot 10^{-6} \text{mW}$, sedangkan daya yang dihasilkan pada rangkaian seri 2 sebesar $139,2 \cdot 10^{-6} \text{mW}$. Rangkaian seri dapat meningkatkan beda potensial sehingga daya yang dihasilkan meningkat juga.

Kesimpulan

Rangkaian seri mampu meningkatkan beda potensial pada substrat laktosa pada sistem MFC yang sesuai dengan hukum Ohm.

Persantunan

Terima kasih kepada Dikti atas program beasiswa Bidikmisi yang telah membantu biaya pendidikan dan penelitian dan Bapak Drs. WH.Rahmanto, M.Si yang telah membantu dalam penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] Korneel Rabaey, Willy Verstraete, (2005), *Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation*, Trends in Biotechnology, 23 (6), 291-298 <http://dx.doi.org/10.1016/j.tibtech.2005.04.008>
- [2] Deni Novitasari, (2011), Optimasi Kinerja Microbial Fuel Cell (MFC) untuk Produksi Energi Listrik menggunakan Bakteri *Lactobacillus bulgaricus*, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [3] Tahere Jafary, Mostafa Rahimnejad, Ali Asghar Ghoreyshi, Ghasem Najafpour, Fahime Hghparast, Wan Ramli Wan Daud, (2013), *Assessment of bioelectricity production in microbial fuel cells through series and parallel connections*, Energy Conversion and Management, 75 256-262 <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2013.06.032>
- [4] Hossein Jafari Mansoorian, Amir Hossein Mahvi, Ahmad Jonidi Jafari, Mohammad Mehdi Amin, Ahmad Rajabizadeh, Narges Khanjani, (2013), *Bioelectricity generation using two chamber microbial fuel cell treating wastewater from food processing*, Enzyme and Microbial Technology, 52 (6-7), 352-357 <http://dx.doi.org/10.1016/j.enzmictec.2013.03.004>
- [5] Shaoan Cheng, Hong Liu, Bruce E. Logan, (2006), *Increased performance of single-chamber microbial fuel cells using an improved cathode structure*, Electrochemistry Communications, 8 (3), 489-494 <http://dx.doi.org/10.1016/j.elecom.2006.01.010>
- [6] Hong Liu, Shaoan Cheng, Bruce E. Logan, (2005), *Production of Electricity from Acetate or Butyrate Using a Single-Chamber Microbial Fuel Cell*, Environmental Science & Technology, 39 (2), 658-662 [10.1021/es048927c](http://dx.doi.org/10.1021/es048927c)
- [7] Swades K. Chaudhuri, Derek R. Lovley, (2003), *Electricity generation by direct oxidation of glucose in mediatorless microbial fuel cells*, Nat Biotech, 21 (10), 1229-1232
- [8] David Hamonangan Sinaga, Linda Suyati, Agustina L. N. Aminin, (2014), *Studi*

- Pendahuluan Pemanfaatan Whey Tahu sebagai Substrat dan Efek Luas Permukaan Elektroda dalam Sistem Microbial Fuel Cell, *Jurnal Sains dan Matematika*, 22 (2), 30-35
- [9] Ester Kristin, (2012), *Produksi Energi Listrik Melalui Microbial Fuel Cell Menggunakan Limbah Industri Tempe* (Skripsi), Universitas Indonesia. Jakarta,
- [10] Albert L. Lehninger, (2000), *Principles of Biochemistry*, Erlangga, Jakarta
- [11] N. S. Inayati, (2014), *Bioelektrisitas Whey Tahu pada Sistem Microbial Fuel Cell dengan Lactobacillus bulgaricus*, in: Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [12] Rita Arbianti, Tania Surya Utami, Heri Hermansyah, Deni Novitasari, Ester Kristin, Ira Trisnawati, (2013), *Performance Optimization of Microbial Fuel Cell Using Lactobacillus bulgaricus*, *Makara Journal of Technology*, 17 (1), 32-38 10.7454/mst.v17i1.1925