

Lactose Bioelectricity on A Microbial Fuel Cell System Parallel Circuit using *Lactobacillus bulgaricus*

Adi Putra¹, 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

Electrical energy needs in Indonesia is estimated to continue growing by 4.6% per year, and if there is nothing to be done to increase the production of electric energy, this figure will increase threefold by 2030. Microbial Fuel Cells (MFC) is one way to produce alternative electric energy by utilizing organic material as a substrate for bacterial metabolic activity that generate electricity. The aim of this study is to examine lactose bioelectricity in a parallel circuit MFC system using *Lactobacillus bulgaricus* to generate electrical energy. The principle of this study is bioelectrochemistry which is the chemical energy change into electrical energy involving redox reactions by utilizing microbes. This study used a dual chamber MFC system with salt bridge as a connector and conductor of protons from the cathode compartment to the anode compartment. An anode compartment contained the bacteria *Lactobacillus bulgaricus* and lactose substrate, while the cathode compartment contained electrolyte solution KMnO_4 0.2 M and phosphate buffer solution with pH = 7. This study used a single circuit, parallel circuit 1 with 2 cells, and a parallel circuit 2 with 3 cells which were oriented to enlarge the produced electricity current. Bioelectricity of lactose produced power in a single series, parallel 1 and parallel 2 respectively were 72.58×10^{-6} mWatt; 155.77×10^{-6} mWatt; 270.28×10^{-6} mWatt where the power generated was proportional to the parallel circuit electric current. Hence by the same potential difference, the power magnitude in parallel circuit 1 approached twice to the single circuit and the power magnitude in parallel circuit 2 approached three times to the single circuit

Keywords: Microbial Fuel Cell (MFC), lactose, Lactobacillus bulgaricus , parallel circuit

ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik di Indonesia diperkirakan terus bertambah sebesar 4,6% per tahun dan jika tidak ada upaya untuk meningkatkan produksi energi listrik, angka ini akan meningkat tiga kali lipat pada tahun 2030. *Microbial Fuel Cells* (MFC) merupakan salah satu upaya alternatif memproduksi energi listrik dengan memanfaatkan materi organik sebagai substrat bakteri untuk melakukan aktivitas metabolisme yang menghasilkan energi listrik. Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji bioelektrisitas laktosa pada rangkaian paralel sistem MFC menggunakan *Lactobacillus bulgaricus* untuk menghasilkan energi listrik. Prinsip penelitian ini adalah bioelektrokimia yaitu perubahan energi kimia menjadi energi listrik yang melibatkan reaksi redoks dengan memanfaatkan mikroba. Penelitian ini menggunakan sistem MFC *dual chamber* dengan jembatan garam sebagai penghubung dan penghantar proton dari kompartemen katoda ke kompartemen anoda. Kompartemen anoda berisikan bakteri *Lactobacillus bulgaricus* dan substrat laktosa, sedangkan kompartemen katoda berisikan larutan elektrolit KMnO_4 0.2 M dan larutan buffer fospat dengan pH=7. Penelitian ini menggunakan rangkaian tunggal, rangkaian paralel 1 dengan 2 sel, dan rangkaian paralel 2 dengan 3 sel paralel yang berorientasi pada peningkatan besar kuat arus listrik yang dihasilkan. Bioelektrisitas dari laktosa menghasilkan daya pada rangkaian tunggal, paralel 1 dan paralel 2 masing-masing adalah $72,58 \times 10^{-6}$ mWatt;

155,77 $\times 10^{-6}$ mWatt ; 270,28 $\times 10^{-6}$ mWatt di mana besar daya yang dihasilkan sebanding dengan arus listrik rangkaian paralel. Sehingga dengan beda potensial yang sama, besar daya pada rangkaian paralel 1 mendekati dua kali rangkaian tunggal dan besar daya pada rangkaian paralel 2 mendekati tiga kali rangkaian tunggal.

Kata kunci: Microbial Fuel Cell (MFC), laktosa, Lactobacillus bulgaricus , rangkaian paralel

Pendahuluan

Seiring dengan pertumbuhan penduduk, kebutuhan energi listrik di Indonesia diperkirakan terus bertambah sebesar 4,6% per tahun, jika tidak ada upaya untuk meningkatkan produksi energi listrik, angka ini akan meningkat tiga kali lipat pada tahun 2030 [1]. Salah satu energi alternatif yang ramah lingkungan adalah *mikrobal fuel cell* (MFC). *Microbial fuel cells* (MFC) merupakan salah satu alternatif dengan memanfaatkan materi organik (substrat) sebagai sumber energi bakteri dalam melakukan aktivitas metabolismenya untuk menghasilkan listrik [2, 3]. Sistem MFC terdiri dari anoda, katoda dan larutan elektrolit. Mikroba akan melakukan metabolismenya pada kompartemen anoda dalam keadaan anaerob mengurai substrat menjadi proton, elektron (e) dan karbon dioksida (CO_2). Elektron akan dialirkan menuju katoda melalui sirkuit luar, sedangkan proton berdifusi melalui jembatan garam menuju katoda [4, 5]. Sistem MFC yang terdiri lebih dari satu sel bisa dihubungkan secara paralel atau seri, sesuai dengan orientasi yang diinginkan. Sistem MFC dengan rangkain paralel berkaitan dengan besar arus yang dihasilkan, dimana rangkaian paralel akan menghasilkan arus yang lebih besar jika dibandingkan dengan rangkaian tunggal atau rangkaian seri [6, 7].

Penggunaan *Lactobacillus bulgaricus* dalam sistem MFC masih terbatas padahal *Lactobacillus bulgaricus* sangat mudah ditemukan. Arbianti dkk [1] menggunakan *Lactobacillus bulgaricus* dan glukosa sebagai substrat dengan nafion sebagai *proton exchange membrane* (PEM) mampu menghasilkan beda potensial sebesar 208 mV dan arus listrik 0.302 mA. Inayati (2014) menggunakan *Lactobacillus bulgaricus* dengan variasi substrat yaitu glukosa, laktosa dan *whey* tahu pada rangkaian tunggal menghasilkan beda potensial sebesar 25,5 mV (*whey* tahu) 24,3 (glukosa) dan paling maksimal ketika menggunakan laktosa 27,2 mV.

Substrat pada sistem MFC yang paling banyak digunakan adalah jenis monosakarida atau disakarida disesuaikan dengan bakteri yang akan digunakan. Misalnya *Lactobacillus bulgaricus* dengan substrat laktosa, yang terbukti pada penelitian inayati memberikan beda potensial yang cukup besar pada rangkaian tunggal. Jika rangkaian tunggal ini dirangkai secara paralel maka performa MFC akan meningkat.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini memanfaatkan bakteri *Lactobacillus bulgaricus* untuk memetabolisme laktosa dalam sistem MFC rangkaian paralel untuk menghasilkan energi listrik.

Bahan dan Metode

Bahan - Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Kultur mikroba *Lactobacillus bulgaricus* , laktosa 0,39%, susu sapi, agar 5 g, grafit, akuades, NaOH 1M, HCl 1M, KCl 1M, KMnO_4 0,2M, alkohol 70%, K_2HPO_4 , KH_2PO_4 .

Alat - Reaktor MFC, multimeter digital DT-830B, kabel dan jepit buaya, resistor, incubator anaerob, autoklaf, mikro pipet, aluminium foil dan alat standar laboratorium.

Prosedur Kerja

Preparasi Komponen MFC

Konstruksi MFC

Kompartemen MFC yang digunakan dalam penelitian ini adalah kompartemen *dual chamber* MFC, terdiri dari anoda dan katoda yang dihubungkan dengan jembatan garam. Pembuatan jembatan garam dilakukan dengan menambahkan 5% agar kedalam aquades 250 mL KCl 1M, kemudian dipanaskan dan dimasukkan kedalam pipa U. 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 $KMnO_4$ 0,2 M 80 mL dengan penambahan buffer fosfat pH 7 dengan konsentrasi 0,2 M 20 mL diisi ke dalam kompartemen katoda dan dilapisi dengan *aluminium foil*.

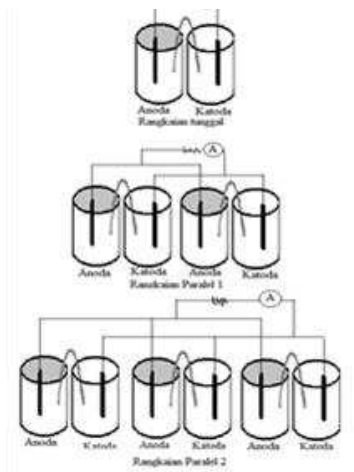
Preparasi Mikroorganisme *Lactobacillus bulgaricus*

Preparasi mikroorganisme dilakukan dengan menumbuhkan bibit *Lactobacillus bulgaricus* dalam susu sapi yang telah disterilisasi. Susu sapi yang telah diinokulasi bibit mikroba diinkubasi selama 24 jam pada suhu 40°C. Starter mikroba dari susu sapi ini akan diinokulasikan pada substrat laktosa di enam tabung reaktor yang berbeda.

Pengukuran Arus Listrik dan

Beda Potensial pada Variasai Rangkaian Paralel

Dua belas kompartemen anoda yang terdiri dari 6 starter mikroba dengan substrat laktosa dirangkai dengan kompartemen katoda yang masing-masing berisi elektrolit $KMnO_4$ dan buffer fosfat. Kompartemen anoda dan katoda masing-masing diisi dengan elektroda grafit, kemudian elektroda grafit pada masing-masing kompartemen dihubungkan dengan rangkaian kabel tunggal, paralel 1 dan paralel 2 pada multimeter digital (gambar 1).



Gambar 1. Skema rangkaian tunggal, paralel 1, dan paralel 2

Selanjutnya pengamatan beda potensial dan arus listrik (Resistansi eksternal 1,95 Ohm) yang dihasilkan setiap jam selama 24 jam. Dari data besar arus listrik dan beda potensial yang dihasilkan akan diperoleh energi listrik (daya)

Hasil dan Pembahasan

Konstruksi Kompartemen MFC

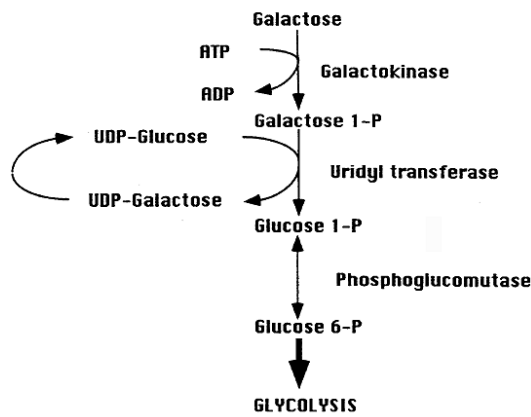
Alat MFC pada penelitian ini menggunakan reaktor dual chamber, terdapat dua kompartemen yaitu anoda dan katoda. Kompartemen anoda yang berisikan kultur bakteri *Lactobacillus bulgaricus* dan laktosa sebagai substrat, sedangkan kompartemen katoda berisikan $KMnO_4$.

Lactobacillus bulgaricus ditubuhkan terlebih dahulu pada susu sapi untuk membiasakan bakteri dalam beradaptasi. Susu sapi merupakan media asli yang digunakan *Lactobacillus bulgaricus* berkembang dalam proses pembuatan yoghurt, dengan komposisi disakarida jenis laktosa. Kondisi lingkungan selama inkubasi diatur dalam keadaan optimum yaitu suhu 40°C dengan kondisi anaerob 24 jam.

Setelah mikroba dari media susu sapi direfresh, selanjutnya dilakukan inokulasi pada media laktosa sebanyak 6 tabung, inkubasi selama 24 jam. Starter mikroba dalam laktosa inilah yang akan digunakan dalam kompartemen anoda pada sistem MFC.

Kompartemen anoda dan katoda dipasang pada sel tunggal, rangkaian paralel 1 dan paralel 2 (gambar 1) kemudian dihubungkan dengan multimeter untuk mengetahui arus dan voltasenya. Substrat laktosa dalam kompartemen anoda akan dihidrolisis menjadi monosakaridanya yaitu glukosa dan galaktosa dengan bantuan enzim laktase yang disekresikan oleh bakteri. Proses metabolisme bakteri dimulai dengan proses glikolisis, Glukosa dari hasil hidrolisis langsung bisa digunakan dalam proses glikolisis sedangkan galaktosa tidak, meskipun glukosa dan galaktosa memiliki rumus molekul yang sama yaitu $C_6H_{12}O_6$, namun perbedaan struktur pada konfigurasi C ke 4 menyebabkan enzim glikolisis tidak mengenali galaktosa. Untuk masuk ke proses glikolisis galaktosa harus diubah menjadi glukosa-6-fosfat, melalui reaksi pada gambar 2.

Hasil dari glikolisis akan masuk ke dalam siklus krebs di dalam mitokondria, pada siklus ini juga dihasilkan ATP, NADH₂, dan FADH₂. Tahap selanjutnya adalah rantai transfer elektron dimana molekul NADH₂ dan FADH₂ yang dihasilkan dari serangkaian proses glikolisis dan siklus asam sitrat akan dioksidasi menjadi NAD⁺ dan FAD⁺ dengan melepaskan elektron dan proton.



Gambar 2. Reaksi metabolisme galaktosa

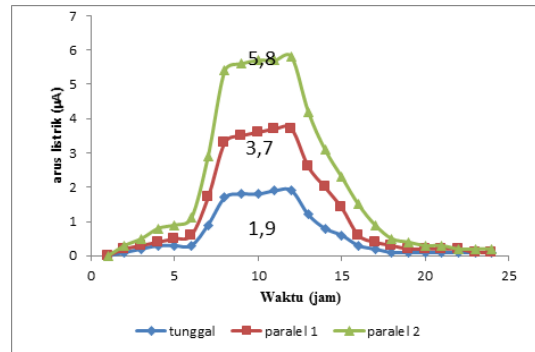
Pada tahap akhir dengan kondisi anaerob elektroda akan menjadi aseptor elektron yang akan menangkap dan mengalirkan elektron menghasilkan listrik, dan kondisi inilah yang dimanfaatkan oleh sistem MFC. Elektron yang dihasilkan kemudian ditransfer melalui sitokrom menuju elektroda di kompartemen anoda dan selanjutnya dialirkan melalui sirkuit eksternal menuju katoda, sedangkan proton berdifusi melalui jembatan garam. Proton dan elektron dari kompartemen anoda

Arus Listrik dan Beda Potensial pada

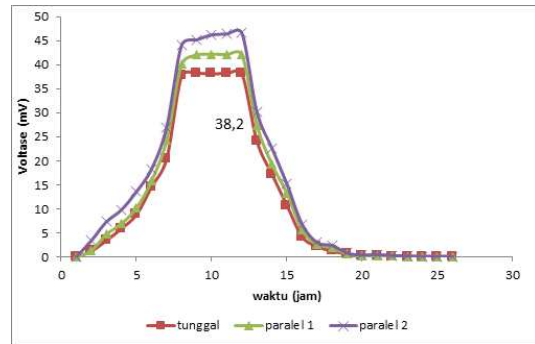
Variasi Rangkaian Paralel dengan Substrat Laktosa

Hasil dari pengukuran kuat arus listrik dan beda potensial menggunakan substrat laktosa disajikan dalam gambar 3 dan gambar 4. Kuat Arus pada rangkaian paralel sistem MFC ini sesuai dengan hukum ohm dimana kuat arus total pada rangkaian paralel adalah kuat arus sel satu di tambahkan dengan kuat arus sel lainnya dari sistem rangkaian yang ada, sedangkan beda potensial atau tegangan adalah sama besar.

Dari gambar 3 teramati kuat arus listrik pada sampel dengan substrat laktosa pada rangkaian paralel 1 adalah dua kalinya kuat arus pada rangkaian tunggal dengan presentase rasio perbandingan 97%, demikian juga dengan rangkaian paralel 2 adalah tiga kalinya rangkaian tunggal dengan presentase rasio perbandingan 102%.



Gambar 3. Kuat arus listrik pada variasi rangkaian paralel dengan substrat laktosa



Gambar 4. Bada potensial pada variasi rangkaian paralel dengan substrat Laktosa

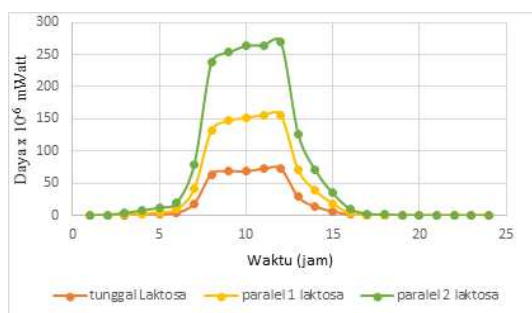
Pengukuran beda potensial menggunakan substrat laktosa seperti pada gambar 4 menunjukkan perbedaan beda potensial pada rangkaian tunggal; paralel 1; paralel 2 masing-masing adalah 38,2mV; 42,2 mV; 46,6 mV. Rangkaian paralel yang terdiri lebih dari satu sel, jika setiap selnya menghasilkan elektron dan proton dengan jumlah yang berbeda maka akan berakibat pada perbedaan besar beda potensial yang teramati, hal ini disebabkan karena adanya perbedaan besar voltase antar sel pada rangkaian paralel 1 dan paralel 2 sehingga yang teramati adalah voltase rata-rata.

Jika diperhatikan antara profil grafik arus listrik dan grafik beda potensial, memiliki profil garis yang sangat mirip, seperti fase eksponensial yang dimulai dari jam ke 7, dan fase stasioner dimulai dari jam ke 8 sampai jam ke jam ke 12 dan selanjutnya adalah fase kematian, hal ini disebabkan karena arus listrik dan beda potensial memiliki perbandingan yang sebanding, semakin besar arus listrik maka semakin besar pula beda potensial dan sebaliknya.

Perbandingan Daya Listrik pada Variasi Rangkaian Paralel dengan Substrat Laktosa

Daya merupakan jumlah energi yang dihasilkan dalam sebuah rangkaian listrik, dengan mengetahui arus listrik yang mengalir dan besar beda potensial maka daya bisa dihitung dengan mengalikannya. Dari data pengamatan di sub-bab 3.2 dihasilkan arus listrik dan voltase, semakin besar arus listrik (I) dan voltase (V) maka daya akan semakin besar. Perbandingan daya pada variasi rangkaian paralel menggunakan substrat laktosa seperti pada gambar 6.

Besar daya yang dihasilkan sebanding dengan arus listrik rangkaian paralel, dengan beda potensial yang sama maka besar daya pada rangkaian paralel 1 mendekati dua kalinya rangkaian tunggal dan besar daya pada rangkaian paralel 2 mendekati tiga kalinya rangkaian tunggal. Dari gambar 6 terlihat bahwa daya yang dihasilkan dari sistem MFC menggunakan substrat laktosa menghasilkan daya pada rangkaian tunggal, paralel 1 dan paralel 2 masing-masing adalah $72,58 \times 10^{-6}$ mWatt; $155,77 \times 10^{-6}$ mWatt ; $270,28 \times 10^{-6}$ mWatt.



Gambar 5. Daya pada variasi rangkaian paralel menggunakan substrat laktosa

Kesimpulan

Bioelektrisitas dari laktosa menghasilkan daya pada rangkaian tunggal, paralel 1 dan paralel 2 masing-masing adalah $72,58 \times 10^{-6}$ mWatt; $155,77 \times 10^{-6}$ mWatt ; $270,28 \times 10^{-6}$ mWatt dimana besar daya yang dihasilkan sebanding dengan arus listrik rangkaian paralel, dengan beda potensial yang sama maka besar daya pada rangkaian paralel 1 mendekati dua kalinya rangkaian tunggal dan besar daya pada rangkaian paralel 2 mendekati tiga kalinya rangkaian tunggal.

Daftar Pustaka

- [1] 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](https://doi.org/10.7454/mst.v17i1.1925)
- [2] Bruce E Logan, (2008), *Microbial fuel cells*, John Wiley & Sons,
- [3] D Singh, D Pratap, Y Baranwal, B Kumar, RK Chaudhary, (2010), *Microbial fuel cells: a green technology for power generation*, *Annals of Biological Research*, 1 (3), 128-138
- [4] A. Muralidharan, O.A. Babu, K. Nirmalraman, M. Ramya, (2011), Impact of Salt Concentration on Electricity Production in Microbial Hydrogen Based Salt Bridge Fuel Cell, *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Science*, 1 (2), 178-184
- [5] Shah K. Chirag, B. N. Yagnik, (2013), Bioelectricity production using microbial fuel cell, *Research Journal of Biotechnology*, 8 (3), 84-90
- [6] Ester Kristin, (2012), *Produksi Energi Listrik Melalui Microbial Fuel Cell Menggunakan Limbah Industri Tempe (Skripsi)*, Universitas Indonesia. Jakarta,
- [7] 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>