



Artikel Penelitian

Potensi Energi Listrik dari *Microbial Fuel Cell* (MFC) Menggunakan Substrat Molase dan Bakteri *Pseudomonas* sp.

Ilmi Wahyuni¹, Heri Heriyono¹, Aisyah^{1*}, Maswati Baharuddin¹, Iswadi Ibrahim Patunrengi²

¹Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin, Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia, 92118

²Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin, Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia, 92118

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel

Diterima 4 April 2021

Direvisi 12 November 2021

Tersedia online 9 Maret 2022

* Penulis korespondensi:
aisyah@uin-alauddin.ac.id

ABSTRAK

Sugarcane molasses have been reported as potential biomass to produce electricity from its metabolic processes through the microbial fuel cell (MFC) system. However, it is important to improve electrical generation by using both appropriate and readily available substrates and microorganisms. This study aimed to determine the current and potential difference as well as the power density generated from the metabolic process of the molasses substrate. A dual-chamber of MFC was arranged in series to generate electrical current. The anode chamber contained a mixture of molasses substrate, potassium phosphate buffer pH 7, and *Pseudomonas* sp. The cathode chamber contained 0.2 M KMnO₄ electrolyte solution. Measurement of current and potential differences was conducted every 4 hours for 36 hours. The results showed that the maximum current, potential difference, and power density were 1656 mV, 1582 μ A, and 1794.37 mW/m², respectively.

Keywords: dual chamber, microbial fuel cell, molasses, *Pseudomonas* sp.

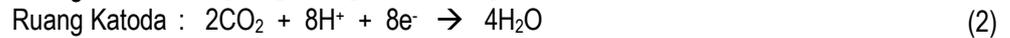
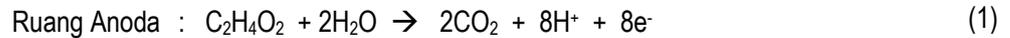
Molase telah banyak dilaporkan sebagai salah satu sumber energi listrik yang potensial dengan menggunakan sistem *microbial fuel cell* (MFC). Namun demikian, produksi energi listriknya perlu ditingkatkan dengan menggunakan substrat dan mikroorganisme yang tepat dan mudah diperoleh. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui arus dan beda potensial serta nilai kerapatan daya yang dihasilkan dari proses metabolisme substrat molase menggunakan bakteri *Pseudomonas* sp. Penelitian ini menggunakan sistem MFC kompartemen ganda sebanyak dua sel yang dirangkai seri. Ruang anoda berisi campuran substrat molase, buffer kalium fosfat pH 7 dan bakteri *Pseudomonas* sp. Adapun ruang katoda berisi larutan elektrolit KMnO₄ 0,2 M. Pengukuran arus dan beda potensial dilakukan setiap 4 jam selama 36 jam. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan didapatkan nilai arus, beda potensial maksimum dan kerapatan daya masing-masing sebesar 1656 mV, 1582 μ A dan 1794,37 mW/m².

Kata kunci: dua sel, *microbial fuel cell*, molase, *Pseudomonas* sp.

1. Pendahuluan

Teknologi *Microbial Fuel Cell* (MFC) merupakan salah satu teknologi penyediaan sumber energi listrik alternatif [1]. MFC memanfaatkan bakteri untuk mengubah energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi katalitik pada kondisi anaerob [2]. Mekanisme kerja bakteri pada sistem MFC adalah mengubah substrat organik terlarut menjadi proton (H⁺), CO₂, dan elektron yang akan dikonversikan menjadi energi listrik dengan bantuan bakteri sebagai akseptor elektron. Bakteri

melakukan metabolisme terhadap substrat dan mengubahnya menjadi bentuk energi berupa ion H^+ pada ruang anoda bersama CO_2 dan elektron. Elektron ini kemudian dialirkan menuju ruang katoda melewati sirkuit yang akan menghasilkan muatan listrik. Pada ruang katoda terjadi reduksi oksigen oleh ion H^+ dan elektron yang menghasilkan air. Reaksi sistem dapat dilihat pada **Persamaan (1)** dan **(2)** [3]. Mikroba yang telah menghasilkan energi dari proses metabolisme, selanjutnya akan mentransfer elektron-elektron yang dihasilkan. Transfer elektron menggunakan mediator yang akan menerima elektron intraseluler meninggalkan sel kemudian mengeluarkan elektron ke permukaan elektroda dalam keadaan tereduksi [4].



MFC menggunakan substrat dari bahan organik karena kelimpahannya di alam. Selain itu, substrat organik juga bersifat ramah lingkungan karena mampu mengolah bahan organik yang berpotensi menjadi limbah menjadi sesuatu yang lebih bermanfaat. Substrat organik dapat berasal dari glukosa, lemak, protein, selulosa dan senyawa-senyawa asam organik sederhana seperti laktat, asetat dan butirat [5]. Limbah produksi tahu oleh mikroba dan mikroalga (*Spirulina platensis*) [6], pupuk kandang oleh *Escherichia coli* [7], limbah tanaman jagung oleh *Shewanella odinensis* [8] dan limbah dapur oleh beberapa spesies mikroalga [9] telah menunjukkan potensi listrik dengan nilai kerapatan daya sebesar 171,44; 93; 660 dan 6255 mW/m^2 , berturut-turut.

Molase merupakan produk samping pembuatan gula tebu diketahui masih banyak mengandung gula dan asam-asam organik. Molase menjadi tempat hidup yang baik bagi bakteri ataupun mikroba karena kandungan gulanya. Kandungan sukrosa, protein dan asam laktat dari molase tebu masing-masing sebesar 48,8; 6,7 dan 6,1% [10]. Dengan kandungan sukrosa yang cukup tinggi, molase dapat dijadikan sebagai substrat sumber karbon untuk kebutuhan nutrisi bakteri dalam proses metabolismenya. Bakteri *Pseudomonas* sp. diketahui memproduksi 150 $\mu g/mL$ mediator redoks fenazin yang mampu mendukung proses degradasi glukosa dengan nilai arus sebesar 19 $\mu A/cm^2$ [11]. Penelitian lain menunjukkan bahwa *Pseudomonas aeruginosa* mampu mendegradasi glukosa dan fruktosa dengan nilai kerapatan daya masing-masing sebesar 136 dan 3,6 mW/m^2 [12].

2. Bahan dan Metode

2.1. Bahan

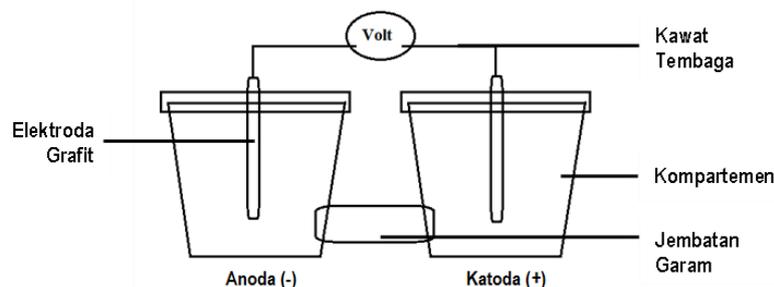
Sampel molase diperoleh dari industri pembuatan gula di Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan dan isolat bakteri *Pseudomonas* sp. diperoleh dari Laboratorium Mikrobiologi FMIPA, Universitas Negeri Makassar. Bahan lain yang digunakan adalah agar (swallow), akuades, kalium permanganat ($KMnO_4$) 0,2 M, bufer kalium fosfat pH 7, media *Nutrient Agar* (NA), media *Nutrient Broth* (NB), asam klorida (HCl) 1 M, kalium klorida (KCl) padatan dan kawat tembaga.

2.2. Preparasi Mikroorganisme

Isolat bakteri *Pseudomonas* sp. digoreskan pada media NA yang telah dibuat dan inkubasi selama 1x24 jam pada suhu $37^\circ C$. Inokulum dibuat dengan mengambil isolat bakteri yang telah ditumbuhkan di media NA dan memasukan ke dalam erlenmeyer yang berisi media NB steril. Setelah itu, erlenmeyer yang berisi inokulum dikocok selama 24 jam dengan putaran 125 rpm pada suhu $37^\circ C$.

2.3. Pembuatan Bioreaktor MFC

Desain kompartemen ganda dapat dilihat pada **Gambar 1**. Dua buah kompartemen plastik disatukan dengan menggunakan pipa PVC. Pada bagian atas diberi celah sebagai tempat elektroda grafit dan kawat tembaga, kemudian semua komponen direkatkan dengan lem.



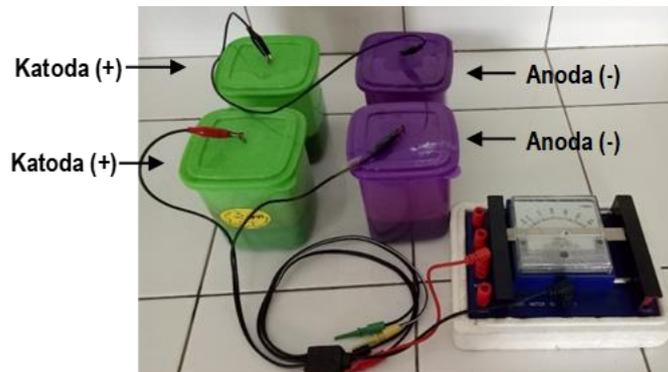
Gambar 1. Desain kompartemen ganda

Preparasi elektroda dilakukan dengan merendam batang elektroda grafit dengan HCl 1 M selama 1x24 jam kemudian dibilas dengan akuades. Setelah itu, grafit kembali direndam dengan NaOH 1 M selama 1x24 jam, selanjutnya dibilas dengan akuades hingga elektroda siap untuk digunakan. Sebanyak 2,5 gram agar dilarutkan dengan 50 mL akuades, dipanaskan dan ditambahkan 1,5 gram KCl dan dihomogenkan. Larutan agar dimasukkan ke dalam pipa PVC yang menghubungkan antara dua kompartemen, didiamkan hingga memadat dan jembatan garam siap untuk digunakan.

2.4. Pengukuran Arus dan Beda Potensial

Larutan elektrolit KMnO_4 0,2 M sebanyak 250 mL dimasukkan ke dalam ruang katoda. Adapun 235 mL substrat molase, 5 mL bufer kalium fosfat dan 10 mL inokulum *Pseudomonas* sp. dimasukkan ke dalam ruang anoda pada masing-masing kompartemen. Setelah itu, kompartemen dirangkai secara seri dan dihubungkan dengan semua komponen alat (**Gambar 2**). Selanjutnya, arus dan tegangan diukur setiap 4 jam selama 36 jam. Kerapatan daya dapat ditentukan berdasarkan **Persamaan (3)** dimana; I adalah kuat arus, V adalah tegangan, A adalah luas permukaan elektroda.

$$\text{Kerapatan daya (mW/m}^2\text{)} = \frac{I \text{ (mA)} \times V \text{ (mV)}}{A \text{ m}^2} \quad (3)$$



Gambar 2. Rangkaian alat untuk mengukur arus dan beda potensial

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran arus dan beda potensial dari limbah samping produksi pembuatan gula yaitu molase sebagai substrat dalam sistem MFC. Desain sistem MFC yang digunakan adalah kompartemen ganda sebanyak dua sistem yang dirangkai secara seri, dimana ruang anoda dan katoda dihubungkan oleh jembatan garam. Jembatan garam terbuat dari campuran antara agar dan KCl, dimana jari-jari ion K^+ lebih besar daripada jari-jari ion H^+ sehingga proton (H^+) akan dapat terdifusi menuju ruang katoda [13].

Setiap sistem MFC pada rangkaian seri akan bekerja masing-masing sehingga arus dan beda potensial yang dihasilkan lebih tinggi. Nilai arus dan beda potensial dapat dilihat pada **Tabel 1**. Pengukuran arus dan beda potensial dilakukan setiap 4 jam selama 36 jam. Nilai arus dan beda potensial tertinggi ditunjukkan pada jam ke 20.00 hingga 24.00 berturut-turut sebesar 1582 μA dan 1656 mV.

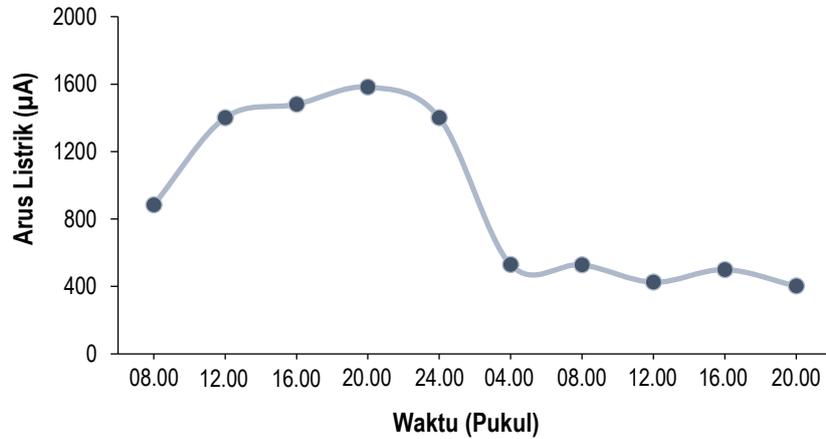
Tabel 1. Nilai Arus dan Beda Potensial Sistem MFC

Pukul	Tegangan (mV)	Arus (μA)
08.00	1556	884
12.00	1584	1400
16.00	1588	1480
20.00	1600	1582
24.00	1656	1400
04.00	1607	529

Pada jam pertama nilai arus dan tegangan tercatat sebesar 884 μA dan 1556 mV. Nilai ini menunjukkan bahwa bakteri sudah mulai menyesuaikan diri dengan lingkungan dan sumber nutrisi yang ada. Nilai arus dan tegangan tertinggi diperoleh pada jam 20.00 dan 24.00. Pada saat ini, bakteri sudah melakukan adaptasi dan penyesuaian yang optimal dengan nutrisi sehingga proses pembelahan sel semakin banyak dan energi yang dihasilkan juga semakin tinggi. Akan tetapi, pada 4 jam

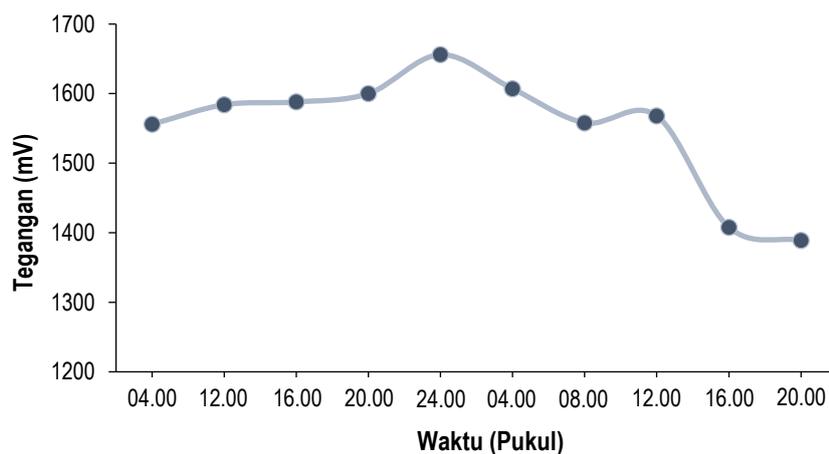
berikutnya energi yang dihasilkan sudah mulai menurun karena sumber nutrisi yang diperlukan oleh bakteri sudah mulai berkurang.

Penelitian terdahulu menggunakan substrat glukosa pada sistem kompartemen ganda menghasilkan arus dan tegangan berturut-turut sebesar 561,83 mV dan 105,33 mA [14]. Hal ini menunjukkan bahwa substrat molase menghasilkan arus dan beda potensial yang lebih tinggi. Molase masih banyak mengandung komponen gula seperti sukrosa yang cukup tinggi untuk dijadikan sebagai sumber karbon bagi bakteri dalam proses metabolismenya.



Gambar 3. Pola pertumbuhan bakteri *Pseudomonas* sp. berdasarkan nilai arus listrik dari sistem MFC dengan substrat molase.

Gambar 3 menunjukkan pola kenaikan dan penurunan nilai arus listrik sesuai dengan pola pertumbuhan bakteri. Nilai arus di awal pengukuran sampai pada pukul 16.00 menunjukkan fase pertumbuhan bakteri yaitu fase lag dan pukul 20.00 bakteri berada pada fase puncak pembelahan sel atau berada pada fase stasioner. Pada pukul 24.00 sampai dengan 20.00 menunjukkan pola penurunan yang menjelaskan bahwa pada keadaan ini bakteri sudah berada pada fase kematian. Arus maksimum yang diperoleh dari substrat molase yaitu 1582 µA. Nilai arus maksimum yang diperoleh ini lebih tinggi dibandingkan penelitian terdahulu yang menggunakan substrat kitin yaitu sebesar 4,24 µA [15] dan substrat molase dengan bakteri pendegradasi *Brevibacillus borstelensis* STR11 sebesar 630 µA [16]. Tingginya nilai arus ini diduga karena adanya penambahan larutan bufer kalium fosfat pH 7 pada ruang anoda. Ion K⁺ dapat berfungsi sebagai nutrisi tambahan yang diperlukan bakteri agar dapat tumbuh dan berkembang dengan baik sehingga jumlah elektron yang dihasilkan cukup tinggi [17].



Gambar 4. Pola pertumbuhan bakteri *Pseudomonas* sp. berdasarkan nilai tegangan listrik dari sistem MFC dengan substrat molase.

Selain nilai arus, nilai beda potensial juga diperoleh pada pengukuran (**Gambar 4**). Terlihat bahwa nilai beda potensial maksimum ditunjukkan pada jam 24.00 yaitu sebesar 1656 mV. Nilai beda potensial yang diperoleh lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang menggunakan substrat yang sama yaitu sebesar 375,4 mV [18]. Hal tersebut dikarenakan penggunaan jenis dan konsentrasi larutan elektrolit KMnO₄ 0,2 M dengan potensial reduksi sebesar

1,70 V. Penggunaan jenis larutan elektrolit yang sesuai pada ruang katoda dapat mempengaruhi beda potensial yang dihasilkan [13]. Hal ini disebabkan karena MFC merupakan sistem bioelektrokimia yang melibatkan reaksi redoks maka dibutuhkan suatu oksidator yang cukup kuat untuk menangkap elektron dari ruang anoda. Selain itu, penggunaan jenis sistem MFC kompartemen ganda yang dibuat seri juga mempengaruhi beda potensial yang dihasilkan.

Berdasarkan data kuat arus dan beda potensial maksimum, kerapatan daya diperoleh sebesar 1794,37 mW/m². Kerapatan daya ini lebih tinggi dibandingkan penelitian terdahulu dengan sampel substrat yang sama dari mikroorganisme campuran yang berasal dari lumpur danau yaitu 31,37 mW/m² [19]. Substrat yang sama dengan bakteri *Shewanella oneidensis* MR-1 menghasilkan kerapatan daya 690,9 mW/m² [20]. Substrat lain dari golongan sakarida seperti selulosa dengan pendegradasi *Bacteroidetes* menghasilkan nilai kerapatan daya kurang dari 200 mW/m² [21]. Perbedaan yang cukup besar ini dapat disebabkan karena energi yang dihasilkan sebagian digunakan oleh bakteri untuk memutuskan rantai panjang selulosa (polisakarida). Berbeda dengan substrat dari molase (disakarida), energi yang digunakan oleh bakteri untuk mengurai molase tidak terlalu besar karena rantai yang relatif pendek dibandingkan dengan rantai selulosa.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan nilai maksimum arus dan beda potensial berturut-turut adalah 1656 mV dan 1582 μ A dengan kerapatan daya sebesar 1794,37 mW/m². Pengembangan lebih lanjut untuk mengetahui kondisi optimum metabolisme bakteri *Pseudomonas* sp. dan molase perlu dilakukan sehingga mendapatkan kerapatan daya yang maksimal dan stabil. Selain itu, diperlukan dilakukan penelitian terkait penyimpanan energi yang dihasilkan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih yang sebesar-besarnya kami ucapkan kepada pimpinan Universitas dan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin Makassar atas dukungan dana untuk berlangsungnya penelitian dan publikasi naskah ini.

Daftar Pustaka

- [1] Y.-Y. Yu, Y.-Z. Wang, Z. Fang, Y.-T. Shi, Q.-W. Cheng, Y.-X. Chen, W. Shi, & Y.-C. Yong, "Single Cell Electron Collectors for Highly Efficient Wiring-up Electronic Abiotic/Biotic Interfaces," *Nature Communications*, vol. 11, no. 4087, 2020.
- [2] B. Kanani, "Microbial Fuel Cell, New Technologies in the Field of Green Energy and Wastewater Treatment," *Anatomy Physiology & Biochemistry International Journal*, vol. 2, no. 5, pp. 87–89, 2017.
- [3] H. L. Song, Y. Zhu, & J. Li, "Electron Transfer Mechanisms, Characteristics and Applications of Biological Cathode Microbial Fuel Cells – A Mini Review," *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 12, no. 8, pp. 2236–2243, 2019.
- [4] C. Santoro, C. Arbizzani, B. Erable, & I. Ieropoulos, "Microbial Fuel Cells: From Fundamentals to Applications. A Review," *Journal of Power Sources*, vol. 356, pp. 225–244, 2017.
- [5] Y.-G. Zhao, Y. Zhang, Z. She, Y. Shi, M. Wang, M. Gao, & L. Guo, "Effect of Substrate Conversion on Performance of Microbial Fuel Cells and Anodic Microbial Communities," *Environmental Engineering Science*, vol. 34, no. 9, pp. 666–674, 2017.
- [6] A. B. Sahaq & Hadiyanto, "Bioelectricity Production from Tofu Wastewater using Microbial-Microalgae Fuel Cell Technology (MMFC)," in *AIP Conference Proceedings*, vol. 2202, no. 020071, 2019.
- [7] X. Zheng & N. Nirmalakhandan, "Cattle Wastes as Substrates for Bioelectricity Production via Microbial Fuel Cells," *Biotechnology Letters*, vol. 32, no. 12, pp. 1809–1814, 2010.
- [8] Y.-Z. Wang, Y. Shen, L. Gao, Z.-H. Liao, J.-Z. Sun, & Y.-C. Yong, "Improving the Extracellular Electron Transfer of *Shewanella oneidensis* MR-1 for Enhanced Bioelectricity Production from Biomass Hydrolysate," *RSC Advances*, vol. 7, pp. 30488–30494, 2017.
- [9] Q. Hou, C. Nie, H. Pei, W. Hu, L. Jiang, & Z. Yang, "The Effect of Algae Species on the Bioelectricity and Biodiesel Generation through Open-Air Cathode Microbial Fuel Cell with Kitchen Waste Anaerobically Digested Effluent as Substrate," *Bioresource Technology*, vol. 218, pp. 902–908, 2016.
- [10] A. Palmonari, D. Cavallini, C. J. Sniffen, L. Fernandes, P. Holder, L. Fagioli, I. Fusaro, G. Biagi, A. Formigoni, & L. Mammi, "Short Communication: Characterization of Molasses Chemical Composition," *Journal of Dairy Science*, vol. 103, no. 7, pp. 6244–6249, 2020.
- [11] E. M. Bosire, L. M. Blank, & M. A. Rosenbaum, "Strain- and Substrate-Dependent Redox Mediator and Electricity Production by *Pseudomonas aeruginosa*," *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 82, no. 16, pp. 5026–5038, 2016.

- [12] N. Ali, M. Anam, S. Yousaf, S. Maleeha, & Z. Bangash, "Characterization of the Electric Current Generation Potential of the *Pseudomonas aeruginosa* Using Glucose, Fructose, and Sucrose in Double Chamber Microbial Fuel Cell," *Iranian Journal of Biotechnology*, vol. 15, no. 4, pp. 216–223, 2017.
- [13] I. Muftiana, L. Suyati, & D. S. Widodo, "The Effect of KMnO_4 and $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ Concentrations on Electrical Production in Fuel Cell Microbial System with *Lactobacillus bulgaricus* Bacteria in a Tofu Whey Substrate," *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, vol. 21, no. 1, pp. 49-53, 2018.
- [14] M. A. Nurhakim, E. Kusdiyantini, & B. Raharjo, "Penggunaan Substrat Glukosa Berbagai Konsentrasi Sebagai Sumber Karbon Microbial Fuel Cell *Saccharomyces cerevisiae* untuk Menghasilkan Energi Listrik," *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, vol. 18, no. 2, pp. 131–136, 2016.
- [15] S.-W. Li, H. He, R. J. Zeng, & G.-P. Sheng, "Chitin Degradation and Electricity Generation by *Aeromonas hydrophila* in Microbial Fuel Cells," *Chemosphere*, vol. 168, pp. 293–299, 2017.
- [16] S. H. A. Hassan, A. E. A. Zohri, & R. M. F. Kassim, "Electricity Generation from Sugarcane Molasses Using Microbial Fuel Cell Technologies," *Energy*, vol. 178, pp. 538–543, 2019.
- [17] D. Sari, L. Suyati, & D. S. Widodo, "Pengaruh Bufer Kalium Fosfat dan Natrium Fosfat terhadap Produksi Listrik dalam Sistem Microbial Fuel Cell (MFC) dengan *Lactobacillus bulgaricus* pada Whey Tahu," *Journal Kimia Sains dan Aplikasi*, vol. 19, no. 3, pp. 107–110, 2016.
- [18] M. Öztürk & T. A. Onat, "The Usage of Molasses and Mediators in Microbial Fuel Cells," *Journal of the Turkish Chemical Society B*, vol. 5, no. 1, pp. 77–84, 2017.
- [19] L. Fan, D.-D. Xu, C. Li, & S. Xue, "Molasses Wastewater Treatment by Microbial Fuel Cell with MnO_2 -Modified Cathode," *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 25, no. 6, pp. 2349–2356, 2016.
- [20] I. F. Nuryana, R. Puspitasari, & S. R. Juliastuti, "Study of Electrode Modification and Microbial Concentration for Microbial Fuel Cell Effectivity from Molasses Waste and Reduction of Heavy Metal Cr(VI) by Continue Dual Chamber Reactor," in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 823, no. 012016, 2020.
- [21] R. Toczyłowska-Maminska, K. Szymona, P. Król, K. Gliniewicz, K. Pielech-Przybylska, M. Kloch, & B. E. Logan, "Evolving Microbial Communities in Cellulose-Fed Microbial Fuel Cell," *Energies*, vol. 11, no. 124, 2018.