

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP DAYA YANG DIHASILKAN MICROBIAL FUEL CELL (MFC) DENGAN SUBSTRAT CAMPURAN LUMPUR SAWAH DAN AIR TEBU

ANALYSIS OF THE EFFECT OF TEMPERATURE ON MICROBIAL FUEL CELL (MFC) GENERATED POWER WITH MIXED SUBSTRATES OF MUD OF RICE FIELD AND CANE WATER

Vebby Tjahyono¹, M. Ramdlan Kirom, M.Si², Ahmad Qurthobi, M.T³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹vtjhyn@students.telkomuniversity.ac.id, ²mramdlinkirom@telkomuniversity.ac.id

³qurthobi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Salah satu sumber energi terbarukan yang sedang berkembang saat ini adalah teknologi Microbial Fuel Cell (MFC). MFC memanfaatkan metabolisme bakteri pada substrat untuk menghasilkan listrik. Pada penelitian ini, substrat yang digunakan adalah campuran antara lumpur sawah dan air tebu. Sistem MFC yang digunakan untuk penelitian ini menggunakan reaktor bertipe dual chamber dengan ukuran yang sama setiap chambernya, yaitu 5 cm x 5 cm x 10 cm. Elektroda yang digunakan pada sistem ini terbuat dari bahan Seng (Zn) dan Tembaga (Cu). Variasi temperatur pada penelitian ini adalah 26 °C, 28 °C, 30 °C, 32 °C, 34 °C, dan 36 °C. Setiap varian temperatur dijaga agar tetap konstan dengan menggunakan kontrol temperatur yang terdiri dari mikrokontroler, sensor temperatur, relay, dan pemanas listrik. Penelitian ini menunjukkan bahwa MFC Dual Chamber dengan substrat campuran lumpur sawah dan air tebu dengan variasi temperatur menghasilkan daya keluaran yang berbeda pada setiap varian temperaturnya. MFC dengan varian temperatur 30 °C menghasilkan daya keluaran yang paling tinggi dibanding varian temperatur lainnya, yaitu 0,408 mW, serta menghasilkan daya keluaran rata-rata 15% lebih tinggi dibandingkan dengan MFC pada temperatur ruangan. Sedangkan, MFC dengan varian temperatur 36 °C menghasilkan daya keluaran yang paling rendah dibanding varian temperatur lainnya, yaitu 0,077 mW.

Kata kunci : MFC, kontrol temperatur, lumpur, air tebu.

Abstract

One renewable energy source that is currently developing is Microbial Fuel Cell (MFC) technology. MFC utilizes bacterial metabolism in the substrate to produce electricity. In this study, the substrate used was a mixture of paddy mud and sugarcane juice. The MFC system used for this study uses a dual chamber type reactor of the same size for each chamber, which is 5 cm x 5 cm x 10 cm. The electrodes used in this system are made of zinc (Zn) and copper (Cu). In this study, temperature variations were 26 °C, 28 °C, 30 °C, 32 °C, 34 °C, 36 °C. This study shows that the MFC Dual Chamber with mixed substrates of mud of rice field and cane water with temperature variations generates a different output power at each temperature variant. MFC with temperature variant of 30 °C generates the highest output power compared to other temperature variants, equal to 0.408 mW, also generates an average output power 15% higher compared to MFC at room temperature. Meanwhile, MFC with temperature variant of 36 °C generates the lowest output power compared to other temperature variants, equal to 0.077 mW.

Keywords: MFC, temperature control, mud, sugarcane

1. Pendahuluan

Energi telah menjadi kebutuhan pokok manusia dalam menjalankan aktivitas sehari-hari. Pada umumnya, energi dihasilkan dari pemanfaatan minyak bumi, akan tetapi sumber cadangan minyak bumi sangat terbatas serta menghasilkan polusi dalam penggunaannya. Untuk itu, dibutuhkan suatu alternatif energi yang tidak terbatas serta ramah lingkungan. Energi Baru Terbarukan (EBT) merupakan jawaban atas kebutuhan manusia akan energi yang tidak terbatas serta ramah lingkungan. Saat ini, banyak sekali pengembangan dari Energi Baru Terbarukan yang telah dilakukan. Salah satu contoh pengembangan Energi Baru Terbarukan adalah Microbial Fuel Cell (MFC). Microbial Fuel Cell (MFC) sangat menarik bagi peneliti karena menggabungkan energi terbarukan dan pemanfaatan limbah[1]. Beberapa peneliti telah membuktikan bahwa bakteri dapat menghasilkan

listrik dalam sistem MFC. Sistem MFC memanfaatkan bakteri sebagai katalis untuk mengoksidasi bahan organik maupun bukan organik dan mengubahnya menjadi listrik[2].

Pada umumnya, pertumbuhan bakteri sangat bergantung pada faktor lingkungan. Menurut Qurotulaini, “Temperatur merupakan salah satu faktor yang paling berpengaruh terhadap pertumbuhan dan kehidupan bakteri”[3]. Dengan pengaruh temperatur tersebut, tentunya daya keluaran dari MFC juga akan berpengaruh. Untuk itu, penulis ingin menganalisis pengaruh temperatur terhadap daya keluaran MFC. Lumpur sawah merupakan salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai substrat karena kaya akan kandungan organik seperti bakteri dan plankton. Selain itu, salah satu bahan organik yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan nutrisi bakteri adalah limbah tebu. Dalam penelitian yang berjudul Memanfaatkan Air Bilasan Bagas Untuk Menghasilkan Listrik Dengan Teknologi Microbial Fuel Cells, air bilasan bagas yang berasal dari tebu mampu menghasilkan power density hingga sebesar 550 mW/m²[4]. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Luthfiana Mifta Syafitri yang memanfaatkan air tebu sebagai bahan organik juga mampu menghasilkan power density yang besar yaitu 813,191 mW/m²[5].

Maka berdasarkan hasil penelitian tersebut, peneliti akan menggunakan campuran lumpur sawah dan air tebu sebagai substrat untuk menganalisis pengaruh temperatur terhadap daya keluaran yang dihasilkan MFC.

2. Dasar Teori

2.1 Reaksi Reduksi Oksidasi

Dalam prosesnya menghasilkan listrik, Microbial Fuel Cell memenuhi reaksi reduksi oksidasi. Reaksi reduksi oksidasi (redoks) adalah reaksi penerimaan dan pelepasan elektron (adanya transfer elektron)[6]. Oksidasi adalah peristiwa terjadinya pelepasan elektron yang ditandai dengan kenaikan bilangan oksidasi[7]. Sedangkan reduksi adalah peristiwa terjadinya penerimaan elektron yang ditandai dengan penurunan bilangan oksidasi[8].

2.2 Sel Volta

Microbial Fuel Cell merupakan aplikasi dari Sel Volta. Sel volta adalah sel elektrokimia yang dapat menghasilkan energi listrik dari reaksi reduksi oksidasi yang berlangsung secara spontan[9]. Reaksi reduksi oksidasi dapat berlangsung secara spontan apabila potensial elektroda pada katoda lebih besar daripada potensial elektroda pada anoda

2.3 Microbial Fuel Cell

2.3.1 Reaktor Microbial Fuel Cell

Berdasarkan ruangnya, Microbial Fuel Cell terbagi menjadi dua jenis yaitu Single Chamber dan Dual Chamber.

1. Single Chamber

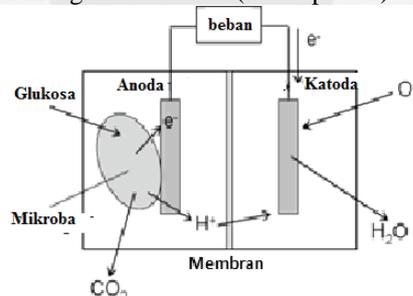
Single Chamber Microbial Fuel Cell (SCMFC) hanya memiliki satu wadah yang didalamnya terdapat elektroda yaitu katoda dan anoda[12]. Pada umumnya, anoda terletak diantara substrat sedangkan katoda berada diantara substrat dan udara.

2. Dual Chamber

Pada Dual Chamber, reaktor Microbial Fuel Cell terdiri atas dua ruang yang dipisahkan oleh Proton Exchange Membrane (PEM) atau jembatan garam. Kedua ruang itu terbagi atas ruang anoda dan ruang katoda. Pada ruang anoda, terdapat substrat yang digunakan sebagai sumber bagi reaktor Microbial Fuel Cell dalam menghasilkan listrik. Sedangkan pada ruang katoda terdapat larutan elektrolit[13].

2.3.2 Prinsip kerja Microbial Fuel Cell

Pada Microbial Fuel Cell, elektron dihasilkan oleh bakteri pada substrat dan kemudian elektron tersebut berpindah dari anoda (kutub negatif) dan mengalir ke katoda (kutub positif) sehingga menghasilkan listrik[14].

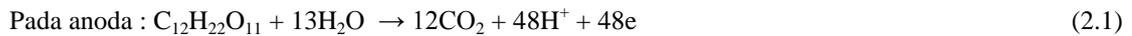


Gambar 2.1 Ilustrasi prinsip kerja Microbial Fuel Cell[15].

Pada ruang anoda yang ditunjukkan Gambar 2.1, terjadi proses metabolisme mikro yang mengoksidasi substrat glukosa dan air menjadi senyawa hidrogen sehingga menghasilkan elektron. Elektron yang terkumpul pada ruang anoda akan menyebabkan timbulnya beda potensial antara ruang anoda dan ruang katoda. Dengan

adanya rangkaian listrik eksternal, elektron akan berpindah menuju ruang katoda sehingga akan menghasilkan listrik.

Jika substrat yang digunakan adalah air tebu, maka reaksi yang terjadi[16].



2.3.3 Elektroda

Dalam pemanfaatan Microbial Fuel Cell, dibutuhkan elektroda sebagai komponen utama yang menunjang Microbial Fuel Cell dalam menghasilkan listrik. Pada umumnya, elektroda terbuat dari bahan logam yang memiliki konduktivitas listrik yang tinggi seperti Seng (Zn) dan Tembaga (Cu). Elektroda juga memainkan peranan penting yang dapat mempengaruhi daya keluaran dari Microbial Fuel Cell[17]. Untuk menghindari kebocoran listrik atau mengurangi nilai resistansi internal, maka jarak antar dioda harus diletakkan sedekat mungkin[18].

2.3.4 Substrat

Substrat merupakan sumber energi listrik pada perangkat Microbial Fuel Cell. Salah satu contoh substrat adalah campuran lumpur sawah dan air tebu. Lumpur sawah mengandung mikroba yang digunakan perangkat Microbial Fuel Cell untuk menghasilkan listrik melalui reaksi reduksi dan oksidasi. Pada lumpur sawah, terdapat ekosistem yang kompleks yang terdiri dari bakteri, protozoa, virus, dan organisme-organisme lain[20]. Bakteri pada lumpur sawah menggunakan air tebu sebagai sumber nutrisi. Kandungan utama pada air tebu adalah sukrosa atau gula yang memiliki rumus kimia $C_{12}H_{22}O_{11}$ [21]. Air tebu yang digunakan berupa tetes tebu yang merupakan produk samping dari proses pembuatan gula.

2.3.5 Kontrol Temperatur

Pada prinsipnya, kontrol temperatur bekerja dengan membandingkan temperatur pada wadah pemanas dengan temperatur pada *heat element*. Air yang telah dipanaskan oleh *heat element* kemudian dipompa ke wadah pemanas yang didalamnya terdapat ruang anoda. Temperatur pada wadah pemanas kemudian dibandingkan dengan temperatur pada *heat element*. Apabila temperatur pada wadah pemanas melebihi atau kurang dari temperatur yang diinginkan, maka relay akan secara otomatis memutuskan atau menghubungkan aliran sumber AC dengan *heat element*.

3. Pembahasan

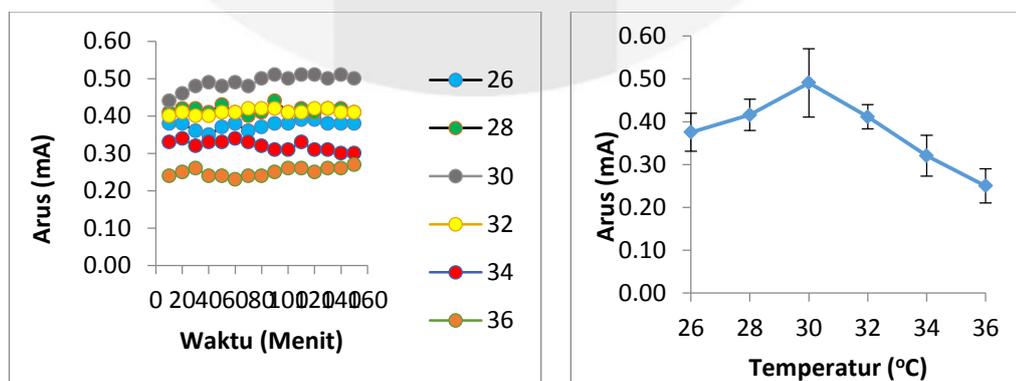
3.1. Microbial Fuel Cell

Pada penelitian ini, reaktor Microbial Fuel Cell (MFC) berjenis dual chamber dengan volume kompartemen anoda dan katoda masing-masing 500 mL. Kedua kompartemen memiliki ukuran yang sama, yaitu 5 x 10 x 10 cm. Kompartemen anoda terletak didalam wadah pemanas yang memiliki ukuran yang lebih besar, yaitu 7 x 14 x 14 cm. Kompartemen anoda dan katoda terhubung oleh pipa PVC yang memiliki panjang 10 cm dan diameter 1 inci. Pipa PVC digunakan sebagai wadah untuk jembatan garam.

3.2 Hasil Pengukuran MFC dengan variasi Temperatur

3.2.1 Pengukuran Arus

Pengukuran arus dilakukan dengan menggunakan multimeter yang dibuat seri dengan katoda dan anoda dari reaktor MFC. Anoda pada reaktor MFC terhubung dengan kutub negatif multimeter dan katoda terhubung dengan kutub positif multimeter. Besarnya arus bergantung pada muatan elektron yang ditangkap plat seng (Zn) pada kompartemen anoda yang kemudian mengalir ke plat tembaga (Cu) pada kompartemen katoda.

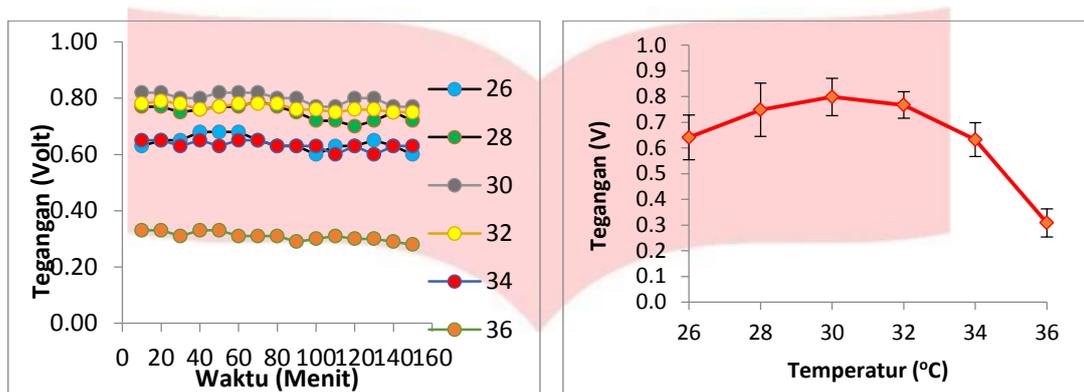


Gambar 3.1 Grafik hasil pengukuran arus dengan variasi temperatur

Pada Gambar 3.1, dapat dilihat grafik pengukuran arus berdasarkan variasi temperatur. Variasi temperatur memiliki rentang 26°C – 36°C dengan kenaikan 2°C . Dari grafik pengukuran arus, terlihat jelas bahwa variasi temperatur menunjukkan perbedaan nilai kuat arus yang cukup signifikan. Kuat arus tertinggi terjadi pada saat temperatur 30°C , yaitu sebesar $0,51\text{ mA}$. Sedangkan kuat arus terendah terjadi pada temperatur 36°C , yaitu sebesar $0,24\text{ mA}$. Pada penelitian ini, nilai kuat arus rata-rata tertinggi terjadi pada temperatur 30°C , yaitu sebesar $0,491\text{ mA}$.

3.2.2 Pengukuran Tegangan

Pengukuran tegangan dilakukan dengan menghubungkan secara paralel antara sensor arus dan multimeter yang terhubung dengan anoda dan katoda dari reaktor MFC. Saat plat seng (Zn) pada anoda melakukan kontak dengan bakteri yang bereaksi terhadap glukosa, maka akan terjadi perbedaan potensial pada masing-masing elektroda.

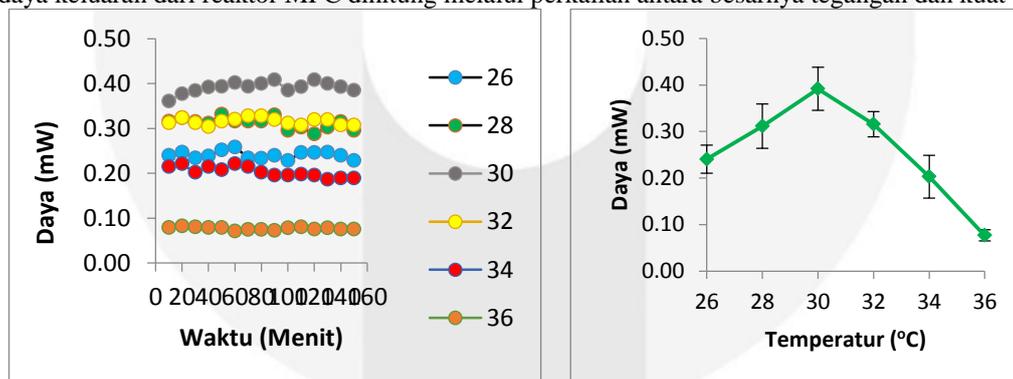


Gambar 3.2 Grafik hasil pengukuran tegangan dengan variasi temperatur

Dari Gambar 3.2, dapat dilihat bahwa nilai tegangan dengan variasi temperatur pada penelitian ini cukup stabil. Pada penelitian ini, tegangan rata-rata tertinggi terjadi pada varian temperatur 30°C yaitu sebesar $0,799\text{ volt}$. Sedangkan untuk tegangan rata-rata terendah terjadi pada varian temperatur 36°C yaitu sebesar $0,309\text{ volt}$. Pada varian temperatur 36°C , nilai tegangan yang terukur cukup rendah. Hal ini terjadi karena penyebaran temperatur yang tidak merata dimana temperatur pada beberapa titik lebih tinggi daripada temperatur disekitar sensor sehingga mengganggu proses metabolisme dari mikroba.

3.2.3 Perhitungan Daya

Besar daya keluaran dari reaktor MFC dihitung melalui perkalian antara besarnya tegangan dan kuat arus.

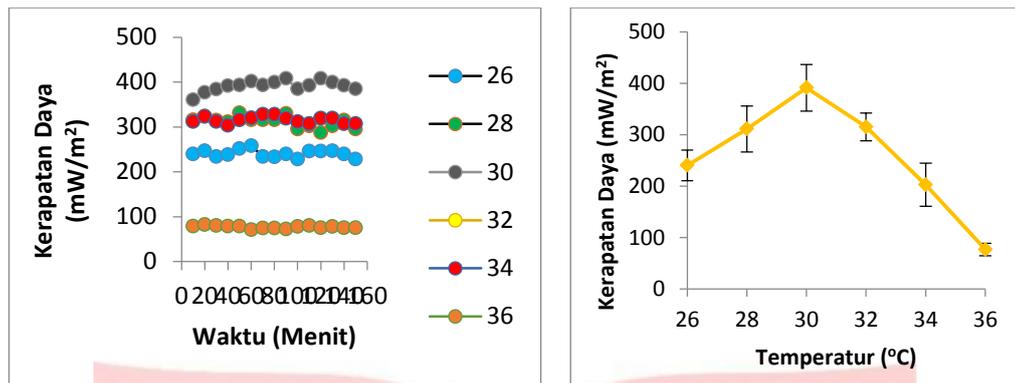


Gambar 3.3 Grafik hasil perhitungan daya dengan variasi temperatur

Besarnya daya keluaran sebanding dengan kuat arus dan tegangan. Berdasarkan Gambar 3.3, varian temperatur 30°C memiliki nilai daya keluaran yang lebih besar daripada varian temperatur lainnya. Nilai rata-rata daya keluaran yang dihasilkan MFC berdasarkan varian temperaturnya masing-masing adalah $0,241\text{ mW}(26^{\circ}\text{C})$, $0,311\text{ mW}(28^{\circ}\text{C})$, $0,392\text{ mW}(30^{\circ}\text{C})$, $0,316\text{ mW}(32^{\circ}\text{C})$, $0,203\text{ mW}(34^{\circ}\text{C})$, dan $0,077\text{ mW}(36^{\circ}\text{C})$.

3.2.3 Perhitungan Kerapatan Daya

Kerapatan daya merupakan daya yang dihasilkan per luas elektroda yang digunakan. Maka, nilai kerapatan daya akan berbanding lurus dengan nilai daya keluaran dan berbanding terbalik dengan luas elektroda yang digunakan. Pada penelitian ini, luas elektroda yang digunakan adalah 10 cm^2 .

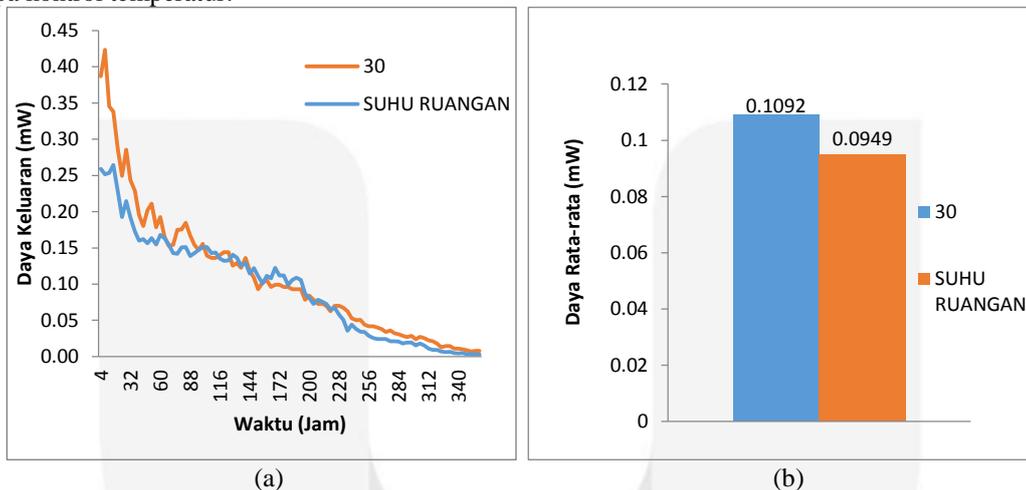


Gambar 3.4 Grafik hasil perhitungan kerapatan daya dengan variasi temperatur

Pada Gambar 3.4, nilai kerapatan daya dinyatakan dalam mW per meter persegi. Dalam grafik tersebut, nilai kerapatan daya tertinggi dihasilkan pada varian temperatur 30 °C yaitu sebesar 391,62 mW/m². Sedangkan untuk nilai kerapatan daya terendah dihasilkan pada temperatur 26 °C.

3.3 Perbandingan MFC dengan kontrol temperatur dan temperatur ruangan

Berdasarkan hasil pengukuran keluaran MFC dengan variasi temperatur, keluaran paling tinggi yang dihasilkan ada pada temperatur 30 °C. Untuk membuktikan bahwa keluaran MFC pada temperatur 30 °C lebih baik, maka dilakukan perbandingan antara keluaran MFC dengan kontrol temperatur 30 °C dengan keluaran MFC tanpa kontrol temperatur.



Gambar 3.5(a) Grafik perbandingan daya terhadap waktu (b) Grafik perbandingan daya rata-rata

Dari Gambar 3.5(a), grafik menunjukkan penurunan tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan MFC dengan kontrol temperatur 30 °C dan tanpa kontrol temperatur (temperatur ruangan). Hal ini disebabkan karena berkurangnya jumlah glukosa sebagai nutrisi bagi bakteri. Selain itu, penempatan bakteri yang bukan pada habitatnya juga menyebabkan penurunan populasi bakteri sehingga produksi energi juga cenderung menurun. Meskipun begitu, grafik pada Gambar 3.5(a) menunjukkan produksi energi listrik yang dihasilkan MFC dengan kontrol temperatur cenderung lebih tinggi dibanding MFC tanpa kontrol temperatur.

Dengan melakukan perbandingan daya rata-rata yang dihasilkan MFC dengan kontrol temperatur dan tanpa kontrol temperatur, MFC dengan kontrol temperatur menunjukkan daya keluaran rata-rata yang lebih tinggi. Hal ini ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 3.5(b), dimana daya keluaran MFC dengan kontrol temperatur memiliki persentase daya keluaran rata-rata 15% lebih besar dibanding daya keluaran rata-rata MFC tanpa kontrol temperatur.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Variasi temperatur pada Microbial Fuel Cell dengan substrat campuran lumpur sawah dan air tebu dapat mempengaruhi daya keluaran yang dihasilkan.
2. Daya keluaran Microbial Fuel Cell pada varian temperatur 30 °C merupakan daya keluaran tertinggi, yaitu 0,408 mW. Microbial Fuel Cell pada temperatur 30 °C menghasilkan daya rata-rata 15% lebih tinggi dibanding Microbial Fuel Cell pada temperatur ruangan. Untuk menghasilkan daya keluaran yang optimal, temperatur Microbial Fuel Cell tidak boleh lebih dari 35 °C.

Daftar Pustaka:

- [1] M.A. Rodrigo. *Production of electricity from the treatment of urban wastewater using a microbial fuel cell*. University of Castilla-La Mancha. 2007.
- [2] Logan, B. E. *Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology*. *Environmental Science and Technology*, 40. 2008.
- [3] Qurotulaini. Pengaruh suhu dan waktu pemanasan terhadap viabilitas dan profil protein isolat *Staphylococcus aureus* sebagai bahan vaksin. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. 2015.
- [4] I. N. S. Winaya, M. Sucipta dan A. K. W. Putra. Memanfaatkan Air Bilasan Bagas Untuk Menghasilkan Listrik Dengan Teknologi *Microbial Fuel Cell*. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra.M*, vol. V, no. 1, pp. 57-63, 2011.
- [5] L. M. S., P. N. H., D. Hardiani, Y. A. S. dan B. Raharjo. Produksi Bioelektrik Dari Sedimen Tambak dan Molase Berbasis Teknologi *Microbial Fuel Cell*. Semarang: Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, 2017.
- [6] Chang, Raymond. *Kimia Dasar: Konsep-Konsep Inti Edisi Ketiga Jilid 2*. (Jakarta : Erlangga, 2003), hlm. 100.
- [7] Chang, Raymond. *Kimia Dasar: Konsep-Konsep Inti Edisi Ketiga Jilid 2*. (Jakarta : Erlangga, 2003), hlm. 197.
- [8] Chang, Raymond. *Kimia Dasar: Konsep-Konsep Inti Edisi Ketiga Jilid 2*. (Jakarta : Erlangga, 2003), hlm. 197.
- [9] Logan, B. E. *Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology*. *Environmental Science and Technology*, 40. 2008.
- [10] Hoogers G. (2002). *Fuel Cell Technology Handbook Trier University of Applied Sciences Jerman*.
- [11] Liu, Hong. *Production of Electricity during Wastewater Treatment Using a Single Chamber Microbial Fuel Cell*, 38. 2004.
- [12] Logan, B. E. *Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology*. *Environmental Science and Technology*, 40. 2008.
- [13] S.S. Uddin, K.S. Roni, A.H.M. Shatil. *Double compartment microbial fuel cell design using salt bridge as a membrane with sucrose and starch as a substrate*. 2016.
- [14] Ashoka, H., R. S., & Bhat, P. (2012). *Comparative Studies On Electrodes For The Construction Of Microbial Fuel Cell*. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*, 3, 785-789.
- [15] Logan, B. E. *Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology*. *Environmental Science and Technology*, 40. 2008
- [16] G.S, Jadhav, M.M, Ghangrekar. *Performance of microbial fuel cell subjected to variation in pH, temperature, external load and substrate concentration*. 2008.
- [17] Ibrahim Bustami, Suptijah Pipih, Adjani Noor Zhalindri. (2017). *Kinerja Microbial Fuel Cell Penghasil Biolistrik Dengan Perbedaan Jenis Elektroda Pada Limbah Cair Industri Perikanan*. Departemen Teknologi Hasil Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor
- [18] Sudarminto Setyo Yuwono, "Tanaman Tebu (*Saccharum officinaru*)", 21 Oktober 2015. URL: <http://darsatop.lecture.ub.ac.id/2015/10/tanaman-tebu-saccharum-officinaru/>. [Diakses 3 Maret 2019, 00:25:13 WIB]