

ANALISIS PRODUKSI LISTRIK MENGGUNAKAN SUBSTRAT LUMPUR SAWAH DAN LIMBAH KULIT PISANG DENGAN METODE SEDIMEN *MICROBIAL FUEL CELL*

ANALYSIS ELECTRICAL ENERGY PRODUCTION USING RICE FIELD MUD AND BANANA PEELS SUBSTRATE WITH MICROBIAL FUEL CELL SEDIMENT METHOD

Moehammad Rifky Dharmawan¹, M. Ramdhan Kirom S.Si., M.Si², Nurwulan Fitriyanti S.Pd., M.Pfis³.

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

¹rifkydharmawan3@gmail.com, ²jakasantang@gmail.com,

³nurwulanf@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Microbial Fuel Cell (MFC) adalah suatu sistem untuk memproduksi energi listrik dengan proses reduksi dan oksidasi melalui bantuan substrat dan bahan organik. Tujuan dari penelitian ini yaitu menganalisis produksi listrik dari pengaruh substrat lumpur sawah Universitas Telkom dan limbah kulit pisang. Sistem yang digunakan adalah Sedimen MFC dengan reaktor satu ruang dan menggunakan wadah yang dapat menampung sampai 1000 mL. Sistem ini terdiri dari dua kompartemen yaitu anoda diletakan pada sedimen/endapan lumpur dengan material elektroda lempengan seng (Zn) dan katoda diletakan pada permukaan air dengan material elektroda tembaga (Cu). Limbah kulit pisang akan dicampurkan pada sedimen lumpur sebagai sumber makanan untuk metabolisme bakteri. Kedua elektroda tersebut akan dihubungkan dengan data logger dan arduino uno sebagai pencatat arus dan tegangan. Penelitian dilakukan pada 6 reaktor yang memiliki variasi jumlah komposisi substrat yang digunakan, yaitu 800 ml lumpur saja pada reaktor 1, 400 ml lumpur dan 400 ml kulit pisang pada reaktor 2, 600 ml lumpur dan 200 ml kulit pisang pada reaktor 3, 200 ml lumpur dan 600 ml kulit pisang pada reaktor 4, reaktor 5 dengan 400 ml lumpur dan 100 ml kulit pisang, serta reaktor 6 dengan 800 ml kulit pisang saja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus, tegangan, dan rapat daya yang dihasilkan paling besar terjadi pada reaktor 4 di hari ke-4 dengan nilai rata-rata arus sebesar 1,412 mA, tegangan sebesar 25,45 mV, serta rapat daya sebesar 14413,67 mW/(m²).

Kata kunci : Sedimen Microbial Fuel Cell, Lumpur Sawah, Kulit Pisang

Abstract

Microbial Fuel Cell is a technology to produce electricity with reduction and oxidation (red-ox) process assisted with substrates and organics. The goal of this research is to analyze electricity production from the substrate of field's mud and banana peels wastes. MFC sediments with single chamber which contains 1000 mL will be the system to do this research. This system consist of two compartments, namely anodes and cathodes, where anodes will be placed on sediments or mud's precipitate with zinc (Zn) plate electrode material meanwhile the cathode will be placed on the water's surface with copper (Cu) electrode material. Banana peels wastes will be mixed to the sediments of mud as the fuel to provide bacteria's metabolism. Both electrodes will be connected to logger data and arduino uno as the recorder of the current and voltage. This research consist of 6 reactors with many variants of used substrate's component, specifically 800 mL of mud only in the first reactor, 400 mL of mud and 400 mL of banana peels in the second reactor, 600 mL of mud and 200 mL of banana peels in the third reactor, 200 mL of mud and 600 mL of banana peels in the fourth reactor, 400 mL of mud and 100 mL of banana peels in the fifth reactor, then only 800 ml of banana peels in the sixth reactor. Observation will take with a certain period to looking for reactor with most productive to produce electricity. The result shows that currence, voltage, and power density mostly produced at the 4th reactor in the 4th day with average currence of 1,412 mA, voltage of 25,45 mV, and power density of 14413,67 mW/(m²).

Keyword: Microbial Fuel Cell Sediment, Rice Field Mud, Banana Peels

1. Pendahuluan

Energi konvensional digunakan sebagian besar masyarakat di Indonesia. Masyarakat perlu melakukan inovasi terhadap penggunaan energi konvensional yang mungkin dapat habis dan beralih menggunakan energi alternatif. Menurut data dari Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) tahun 2012, persediaan sumber energi konvensional/fosil di Indonesia diperkirakan hanya akan bertahan dalam beberapa puluh tahun kedepan. Indonesia saat ini saja untuk memenuhi pasokan listrik, Perusahaan Listrik Negara (PLN) menggunakan energi berbahan bakar solar hingga 68% dari konsumsi bahan bakarnya [1].

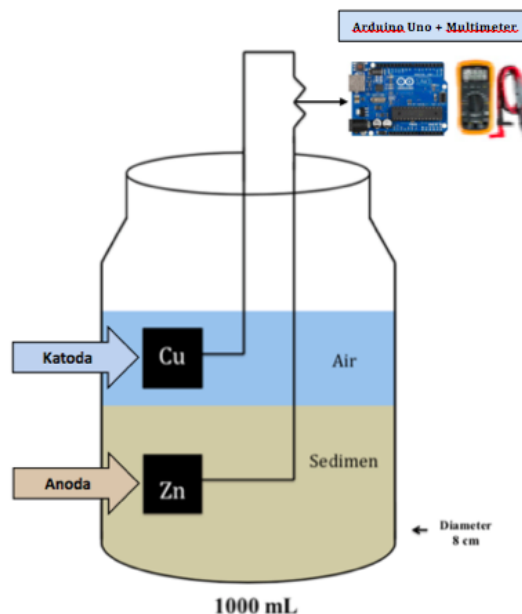
Energi terbarukan sangat diperlukan untuk menunjang aktivitas manusia saat ini. *Microbial Fuel Cell* (MFC) merupakan inovasi energi terbarukan dalam proses produksi energi listrik. MFC menggunakan bakteri/mikroorganisme untuk menghasilkan energi listrik dari oksidasi dan reduksi bahan organik. Pada sistem ini, terdapat 2 kompartemen yaitu anoda dan katoda yang masing-masing diisi oleh substrat dan elektrolit. Tentunya bakteri dari substrat pada ruang anoda akan menghasilkan elektron dan proton yang akan ditransfer ke ruang katoda yang nantinya akan menjadi arus listrik.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini penulis ingin melakukan pengamatan yang merupakan pengembangan sistem MFC yaitu menggunakan sistem sedimen MFC *single chamber* atau satu ruang. Substrat yang digunakan yaitu lumpur sawah Universitas Telkom sebagai penghasil bakteri pengurai dan limbah kulit pisang raja sebagai bahan makanan untuk bakteri. Variasi dilakukan pada jumlah komposisi substrat dan limbah yang digunakan agar mendapatkan arus dan tegangan listrik yang maksimal. Tentunya pemilihan sistem satu ruang ini selain dinilai memiliki bentuk reaktor yang lebih ringkas, tentu juga diharapkan dan diprediksi dapat melebihi keefektifan dan kestabilan sistem dalam memproduksi listrik lebih baik.

2. Metode Penelitian

2.1 Pembuatan Reaktor SMFC

Penelitian ini menggunakan alur sistem yang paling umum digunakan pada penelitian berbasis MFC *single chamber*. Sistem ini menggunakan dua kompartemen yaitu anoda dan katoda yang diletakan pada satu ruang berbentuk sedimen/endapan. Kedua kompartemen tersebut memiliki material elektrodanya masing-masing sebagai penghantar aliran listrik seperti pada Gambar 1.

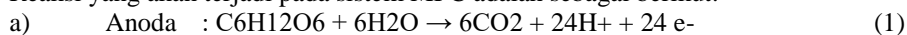


Gambar 1 Reaktor SMFC

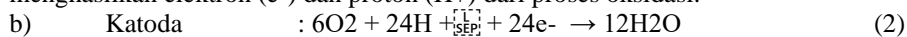
2.2 Sedimen *Microbial Fuel Cell*

SMFC merupakan salah satu energi alternatif terbarukan dan proses berkelanjutan dari sistem MFC. SMFC memproduksi energi melalui proses perbedaan elektron antara air aerobik dan sedimen anaerobik [3]. Sedimen *Microbial Fuel Cell* ini memiliki satu ruang reaktor dengan dua kompartemen dan material elektroda yang saling berhubungan, yaitu material seng (Zn) pada kompartemen anoda yang dan material tembaga (Cu) pada kompartemen katoda. Anoda diposisikan pada kedalaman sedimen atau endapan yang memiliki sifat anaerobik, sedangkan katoda ditempatkan pada permukaan air yang mengandung oksigen terlarut. Sistem SMFC ini memiliki variasi komposisi pada tiap reaktornya. Reaktor 1 diisi dengan 800 ml lumpur sawah, reaktor 2 diisi dengan 400 ml lumpur sawah dan 400 ml limbah kulit pisang, reaktor 3 diisi dengan 600 ml lumpur sawah dan 200 ml limbah kulit pisang, reaktor 4 diisi dengan 200 ml lumpur sawah dan 600 ml limbah kulit pisang, reaktor 5 diisi dengan 400 ml lumpur sawah dan 100 ml limbah kulit pisang, serta reaktor 6 diisi dengan 800 ml limbah kulit pisang saja. Dalam lumpur sawah terdapat mikroorganisme yang akan membantu proses metabolisme sistem SMFC ini. Bakteri yang terdapat pada lumpur seperti *Shewanella oneidensis*, dan *Rhodofeax ferriredunces* tentunya memiliki kandungan yang dapat menghasilkan elektron serta mentransfernya agar dapat menghasilkan arus listrik [2]. Limbah kulit pisang digunakan karena memiliki kandungan berupa senyawa glukosa pada karbohidrat yang dapat dijadikan makanan oleh bakteri sebagai metabolisme bakteri itu sendiri dalam menghasilkan elektron. Menurut penelitian Sukarman dan Asih Sukowati (2014), terdapat setidaknya 18,5 % kandungan karbohidrat pada setiap 100 gr kulit pisang [5]. Mikroorganisme akan menguraikan karbohidrat menjadi senyawa glukosa sebagai proses metabolisme yang selanjutnya akan berinteraksi dengan elektroda untuk menghasilkan proton, elektron, dan CO₂. Elektron terproduksi pada kompartemen anoda dari proses degradasi anaerob substrat yang dilakukan oleh bakteri yang berada di sedimen/endapan lumpur yang selanjutnya akan di transfer melalui sirkuit eksternal menuju penerima seperti oksigen di kompartemen katoda, kemudian proton/ion akan ditransfer diantara anoda dan katoda untuk menghasilkan energi listrik.

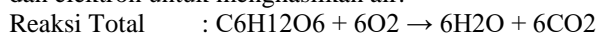
Reaksi yang akan terjadi pada sistem MFC adalah sebagai berikut:



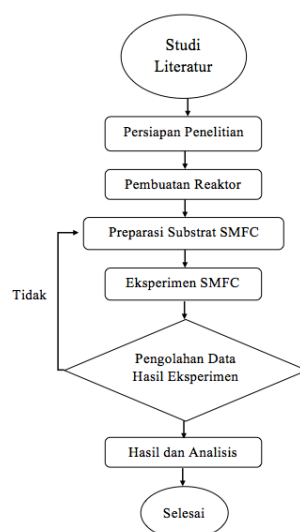
Dalam reaksi ini terjadi proses digestive bakteri pada ruang anoda. Dimana substrat menghasilkan elektron (e⁻) dan proton (H⁺) dari proses oksidasi.



Pada katoda terjadi reaksi reduksi dimana ion positif berkombinasi dengan oksigen dan elektron untuk menghasilkan air.



2.3 Rancangan Alur Penelitian



Gambar 2 Flowchart Alur Penelitian

- Tahap pertama yang dilakukan pada penelitian ini adalah studi literatur, yaitu mempelajari dan memahami sistem kerja dari Sedimen MFC *single chamber* dalam memproduksi listrik yang didapatkan dari beberapa jurnal penelitian MFC, maupun buku-buku yang bersangkutan.
- Tahap kedua yaitu pembuatan reaktor Sedimen MFC *single chamber*, dimana kompartemen anoda dan katoda terdapat pada satu ruang yang sama dengan metode sedimen/endapan.
- Tahap ketiga yaitu menyiapkan bahan penelitian seperti substrat dan elektroda. Substrat yang digunakan pada penelitian ini yaitu lumpur sawah Universitas Telkom sebagai sumber bakteri dan bantuan limbah kulit pisang sebagai sumber makanan atau metabolisme bakteri pada lumpur. Elektroda yang digunakan yaitu material Seng (Zn) pada anoda dan material Tembaga (Cu) pada katoda.
- Tahap keempat yang dilakukan adalah pengujian dan analisis data untuk mengetahui seberapa besar pengaruh substrat lumpur sawah Universitas Telkom dan limbah kulit pisang serta pengaruh variasi jumlah komposisi substrat tiap reaktor itu sendiri terhadap arus dan tegangan listrik yang dihasilkan.

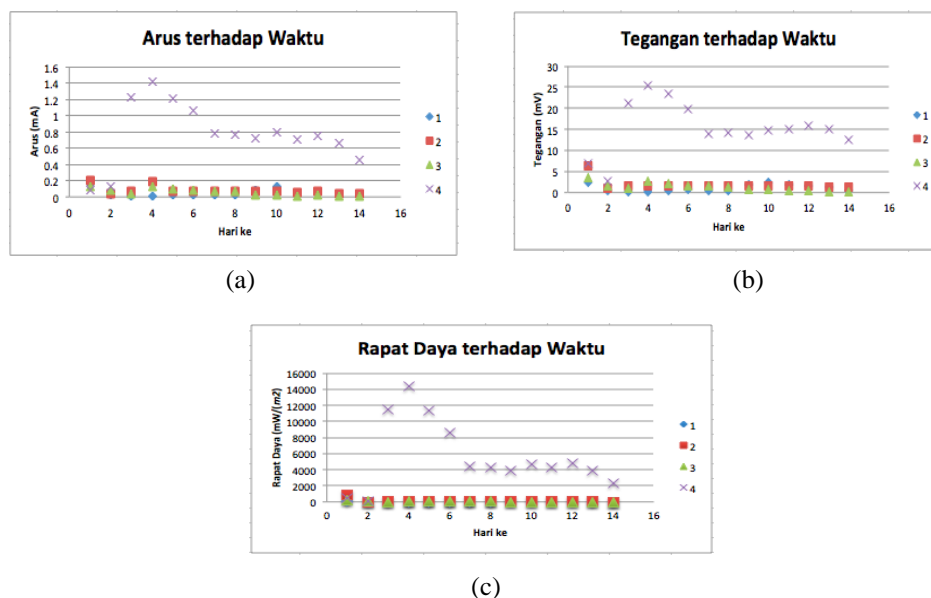
3. Hasil dan Pembahasan

Pengukuran pada penelitian ini dilakukan dengan 2 cara yaitu menggunakan *data logger* arduino uno yang dapat menyimpan data ke *SD card* dan juga menggunakan multimeter untuk mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan oleh 6 reaktor dengan variasi komposisi sebagai berikut:

Tabel 1 Variasi pengukuran tiap reaktor

Reaktor	Lumpur Sawah Universitas Telkom (mL)	Limbah Kulit Pisang (mL)
1	800 mL	-
2	400 mL	400 mL
3	600 mL	200 mL
4	200 mL	600 mL
5	400 mL	100 mL
6	-	800 mL

3.1 Perbandingan Arus, Tegangan, dan Rapat Daya pada Reaktor 1 sampai Reaktor 4

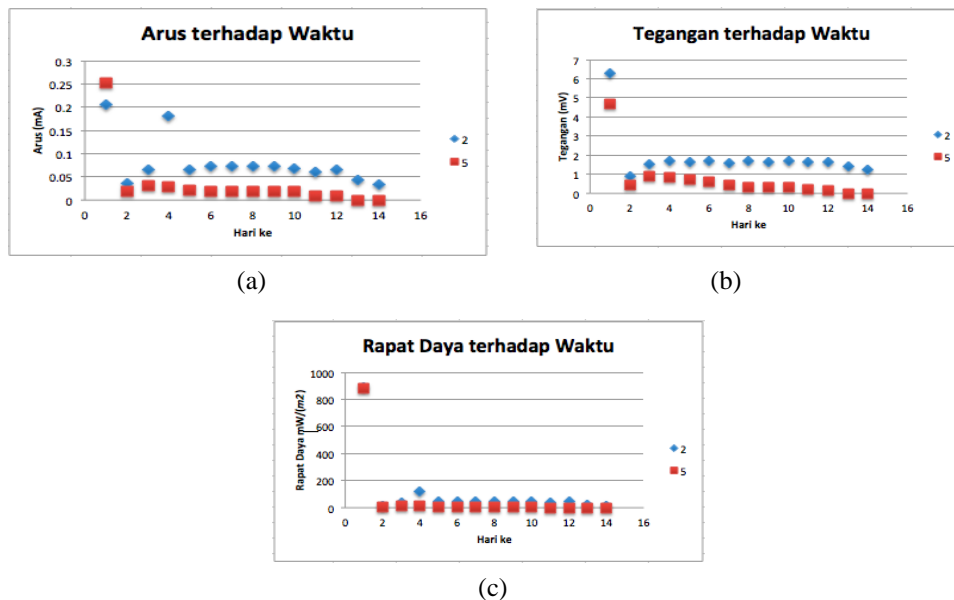


Gambar 3 (a) Arus terhadap waktu, (b) Tegangan terhadap waktu, (c) Rapat daya terhadap waktu

Pada gambar (a) dan (b) dapat disimpulkan bahwa hasil keluaran arus dan tegangan pada reaktor 1, 2, dan 3 cenderung konstan, namun pada reaktor 4 memiliki hasil dengan kenaikan dan penurunan yang cukup signifikan hingga hari ke-14. Penurunan nilai arus dan tegangan ini juga disebabkan oleh munculnya karat pada material elektroda sehingga menyebabkan proses teproduksinya listrik semakin mengecil. Selama 14 hari penelitian, reaktor 1 menghasilkan rata-rata arus dan tegangan sebesar 0,049 mA dan 1,086 mV, reaktor 2 sebesar 0,08 mA dan 1,877 mV, reaktor 3 sebesar 0,057 mA dan 1,321 mV, dan reaktor 4 sebesar 0,766 mA dan 15,305 mV. Hasil produksi arus dan tegangan terbesar terjadi pada reaktor 4 dengan variasi komposisi 200 ml lumpur sawah dan 600 ml limbah kulit pisang. Hasil tertinggi pada reaktor 4 terjadi pada hari ke 4 dengan rata-rata arus sebesar 1,412 mA dan rata-rata tegangan sebesar 25,45 mV. Selain itu, dapat juga disimpulkan bahwa peran limbah kulit pisang sebagai bahan makanan metabolisme bakteri sangat berperan dalam produksi arus dan tegangan pada sistem SMFC ini karena reaktor dengan penggunaan limbah kulit pisang paling banyak menghasilkan nilai arus dan tegangan yang lebih besar dibanding reaktor dengan variasi lainnya.

Pada gambar (c), nilai rapat daya didapatkan dari hasil perhitungan besarnya nilai daya yang berbanding dengan luas permukaan elektroda. Menurut penelitian Eka Vonia (2018), adanya perbedaan ukuran elektroda yang digunakan serta perbedaan waktu pengukuran akan menghasilkan hasil produksi maksimum yang berbeda juga [7]. Selama 14 hari penelitian, reaktor 1 menghasilkan rata-rata rapat daya sebesar 39,79 ($\text{mW}/(\text{m}^2)$), reaktor 2 sebesar 105,095 $\text{mW}/(\text{m}^2)$, reaktor 3 sebesar 49,457 $\text{mW}/(\text{m}^2)$, dan reaktor 4 sebesar 5626,46 $\text{mW}/(\text{m}^2)$. Dalam grafik tersebut dapat kita simpulkan bahwa hasil perhitungan rapat daya tidak jauh berbeda dengan produksi arus dan tegangan yang dihasilkan, yaitu nilai tertinggi dihasilkan oleh reaktor 4 pada hari ke 4 yaitu dengan rata-rata sebesar 14413,67 $\text{mW}/(\text{m}^2)$. Hal ini menunjukkan bahwa produksi listrik pada sistem SMFC ini akan lebih besar apabila menggunakan volume limbah kulit pisang yang lebih banyak dari pada volume lumpur sawah yang digunakan dikarenakan semakin banyaknya karbohidrat yang akan diuraikan oleh bakteri menjadi glukosa sebagai bahan metabolisme.

3.2 Perbandingan Hasil Pengukuran pada Reaktor 2 dan Reaktor 5



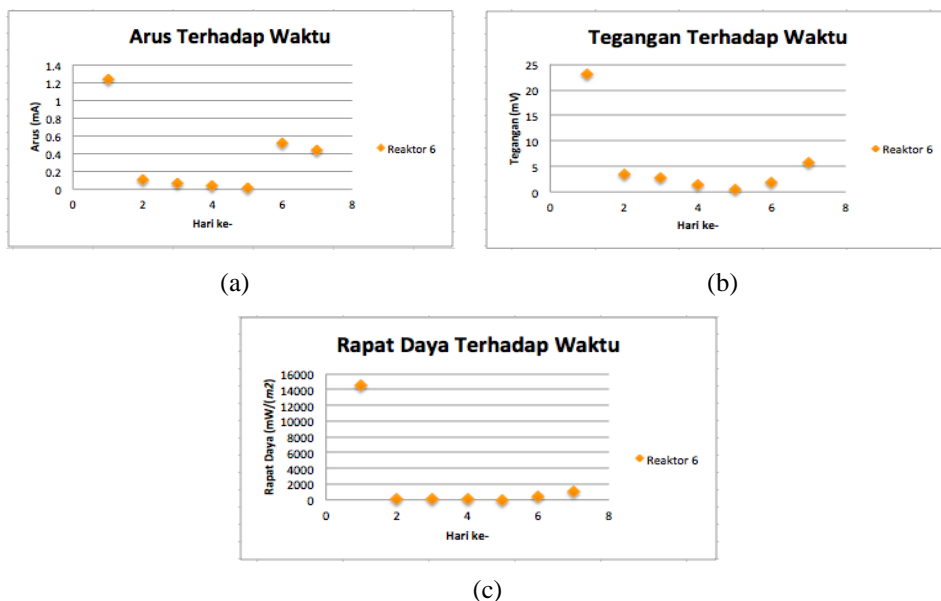
Gambar 3 (a) Arus terhadap waktu, (b) Tegangan terhadap waktu, (c) Rapat daya terhadap waktu

Pada gambar (a) dan (b) dapat disimpulkan bahwa Selama 14 hari penelitian, reaktor 2 menghasilkan rata-rata arus dan tegangan sebesar 0,08 mA dan 1,877 mV, dan reaktor 5 sebesar 0,0339 mA dan 0,704 mV. Nilai arus dan tegangan pada reaktor 2 cenderung memiliki hasil yang lebih besar dari pada reaktor 5, dimana arus dan tegangan tertinggi pada reaktor 2 memiliki rata-rata sebesar 0,207 mA dan 6,267 mV pada hari pertama dan reaktor 5 memiliki rata-rata sebesar

0,253 mA dan 4,667 mV pada hari pertama. Adanya nilai arus dan tegangan ini diakibatkan oleh timbulnya elektron yang mengalir yang dihasilkan oleh metabolisme pada bakteri. Pada grafik diatas, nilai kuat arus dan tegangan keduanya memiliki hasil paling besar pada hari pertama dan kemudian langsung turun dan cenderung konstan. Penurunan ini disebabkan oleh turunnya jumlah glukosa yang disebabkan oleh terproduksinya zat buang yang sudah tidak diperlukan yang menyebabkan lingkungannya mengalami perubahan yang akan memberikan kontribusi pada peningkatan jumlah sel yang mati [4]. Sehingga, pemindahan lokasi hidup bakteri dari sawah ke reaktor memungkinkan terjadinya penurunan kinerja bakteri yang akan digunakan.

Pada gambar (c), Nilai rapat daya didapatkan dari hasil perhitungan besarnya nilai daya yang berbanding dengan luas permukaan elektroda. Sehingga grafik rapat daya berbanding lurus dengan grafik arus dan tegangan yang dihasilkan. Pada grafik diatas dapat disimpulkan bahwa selama 14 hari penelitian, reaktor 2 menghasilkan rata-rata rapat daya sebesar $105,095 \text{ mW}/(m^2)$, dan reaktor 5 sebesar $66,107 \text{ mW}/(m^2)$. Selain itu dapat disimpulkan juga bahwa reaktor 2 memiliki hasil rapat daya tertinggi dengan nilai rata-rata sebesar $887,467 \text{ mW}/(m^2)$ pada hari ke-1 dari pada reaktor 5 yang memiliki nilai rata-rata rapat daya sebesar $878 \text{ mW}/(m^2)$ pada hari ke-1. Hal ini disebabkan, reaktor 2 memiliki penggunaan jumlah volume limbah kulit pisang yang lebih banyak dibandingkan dengan reaktor 5. Menurut Sukarman dan Asih Sukowati (2014), setiap 100 gr kulit pisang mengandung karbohidrat hingga 18,5%, dimana karbohidrat digunakan sebagai penghasil senyawa glukosa sebagai makanan metabolisme bakteri [5]. Sehingga, semakin banyak limbah kulit pisang yang digunakan sebagai bahan makanan bakteri pada lumpur berbanding lurus dengan produksi energi yang dihasilkan.

3.2 Hasil Pengukuran pada Reaktor 6.



Gambar 3 (a) Arus terhadap waktu, (b) Tegangan terhadap waktu, (c) Rapat daya terhadap waktu.

Pada gambar (a) dan (b) diatas dapat disimpulkan bahwa selama 7 hari penelitian, reaktor 6 menghasilkan rata-rata arus sebesar 0,349 mA dan rata-rata tegangan sebesar 5,529 mV dimana arus dan tegangan tertinggi terjadi pada hari ke-1 dengan rata-rata arus dan tegangan sebesar 1,242 mA dan 23,05 mV. Pada grafik tersebut dapat disimpulkan, hasil keluaran arus dan tegangan yang fluktuatif dengan mengalami penurunan pada hari ke-2 dengan rata-rata sebesar 0,106 mA dan 3,384 mV, dan meningkat lagi pada hari ke-7 dengan rata-rata sebesar 0,434 mA dan 5,784 mV. Hal ini disebabkan, karena mikroorganisme pada limbah kulit pisang sedang mengalami fase lag atau fase adaptasi, fase dimana mikroorganisme melakukan penyesuaian diri terhadap lingkungan yang baru [6].

Pada gambar (c) diatas merupakan grafik hasil nilai rapat daya pada reaktor 6. Nilai rapat daya didapatkan dari hasil perhitungan besarnya nilai daya yang berbanding dengan luas permukaan elektroda. Sehingga grafik rapat daya berbanding lurus dengan grafik arus dan tegangan yang dihasilkan. Selama 7 hari penelitian, reaktor 6 menghasilkan nilai rata-rata rapat daya sebesar 2298,458 mW/(m²) dengan nilai rapat daya tertinggi pada hari ke-1 dengan rata-rata sebesar 11462,467 mV. Hal ini disebabkan oleh sel mikroba/mikroorganisme yang terdapat pada limbah kulit pisang yang dapat membelah dengan cepat dan konstan, sehingga memungkinkan semakin banyaknya proton dan elektron yang dihasilkan dari proses metabolisme [6]. Selanjutnya pada hari ke-2, mengalami penurunan yang disebabkan oleh berkurangnya jumlah glukosa yang tersedia. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa limbah kulit pisang saja dapat digunakan sebagai substrat untuk produksi energi listrik pada sistem SMFC.

4. Kesimpulan

- a) Pada penelitian ini, sistem SMFC pada reaktor 4 dengan variasi komposisi 200 ml lumpur sawah dan 600 ml limbah kulit pisang menghasilkan nilai rata-rata rapat daya sebesar 5626,46 mW/(m²) selama 14 hari penelitian dan rapat daya yang terbesar terjadi pada hari ke-4 yaitu dengan rata-rata sebesar 14413,667 mW/(m²)
- b) Pada perbandingan penelitian antara reaktor 2 dan 5, reaktor 2 dengan variasi komposisi 400 ml lumpur sawah dan 400 ml limbah kulit pisang dapat lebih baik dalam menghasilkan energi dibanding reaktor 5 dengan komposisi 400 ml lumpur sawah dan 100 ml limbah kulit pisang dikarenakan proses metabolisme bakteri yang lebih maksimal. Reaktor 2 menghasilkan nilai rata-rata rapat daya sebesar 105,0952 mW/(m²) sedangkan reaktor 5 sebesar 66,1067 mW/(m²) dalam kurung waktu 14 hari penelitian.

Daftar Pustaka:

- [1] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2012. Outlook Energi Indonesia 2012. Jakarta: Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi BBPT.
- [2] Dwidjoesepuro. 1998. Dasar-dasar mikrobiologi. Unipress: Jakarta.
- [3] Lakshmi Konthapali, Ananta. (2013). "*Sediment Microbial Fuell Cell As Sustainable Power Resource*". Milwaukee: University of Wisconsin.
- [4] N.C. Zahra. 2011. Pemandaatan *Saccharomyces Cerevisiae* Dalam Sistem Microbial Fuel Cell Untuk Produksi Energi Listrik. Universitas Indonesia. Depok. Jawa Barat.
- [5] Sukarman, Asih Sukowati. 2014. Produksi Bioetaol dari Kulit Pisang Melalui Hidrolisis Asam Sulfat. Tersedia di : <http://digilib.unila.ac.id/2173/> [30 Juli 2017].
- [6] Utami Lisa, Lazulva, Fatisa Yuni. 2018. Produksi Energi Listrik dari Limbah Kulit Pisang (*Musa paradisiaca L.*) Menggunakan Teknologi Microbial Fuel Cells dengan Permanganat sebagai Katolit. Riau; UIN Suska Riau
- [7] Vonia, Eka. 2018. Studi Potensi Produksi Energi Listrik Sel Tunam Mikroba dengan Substrat Kulit Pisang. Bandung: Universitas Telkom.