

**PENGARUH VARIASI PERBANDINGAN VOLUME SUBSTRAT
ANTARA LUMPUR DAN LIMBAH KULIT KENTANG TERHADAP
PRODUKSI ENERGI LISTRIK DALAM SISTEM *SEDIMENT
MICROBIAL FUEL CELL* (SMFC)**

**(THE EFFECT OF SUBSTRATE VOLUME RATIO VARIATIONS
BETWEEN FIELD RICE MUD AND POTATO PEELS WASTE ON THE
PRODUCTION OF ELECTRICAL ENERGY IN *SEDIMENT MICROBIAL
FUEL CELL* (SMFC) SYSTEM)**

Lanny Arthatika Adelin¹, M. Ramdhan Kirom², Endang Rosdiana³

Program Studi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Telkom University

officialadelin@student.telkomuniversity.ac.id, mramdhan@telkomuniversity.ac.id,
endangr@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

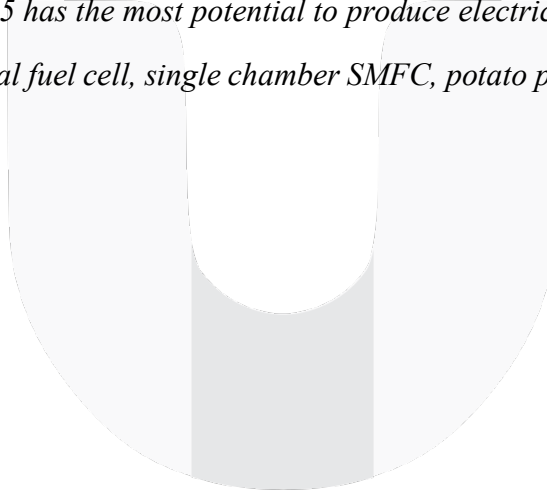
Energi listrik adalah energi dengan permintaan tertinggi dan akan terus naik tahun ke tahun. Saat ini, sebagian besar energi listrik masih diperoleh dari energi fosil. Meningkatnya kebutuhan listrik akan berakibat pada peningkatan pemanfaatan energi fosil dan akhirnya membawa masalah ketersediaan. Hal ini dikarenakan energi fosil tidak bersifat terbarukan, sehingga butuh puluhan tahun untuk dapat memperoleh energi ini kembali apabila ketersediaannya menipis. Sehingga, kemampuan energi fosil untuk memenuhi kebutuhan listrik mulai dikhawatirkan. Pada percobaan ini, teknologi konversi energi *Sediment Microbial Fuel Cell* (SMFC) dimanfaatkan sebagai solusi dalam memperoleh energi listrik yang sifatnya terbarukan dan tentunya lebih ramah lingkungan. SMFC adalah salah satu teknologi konversi energi yang memanfaatkan substrat berupa limbah organik dan sedimen berupa lumpur untuk menghasilkan energi listrik. Pada percobaan ini, substrat yang digunakan adalah limbah kulit kentang dan lumpur sawah sebagai sedimen. Jumlah reaktor yang digunakan sebanyak 8 buah, di mana setiap reaktor dilakukan variasi volume substrat, yaitu volume antara lumpur dan limbah dengan volume total substrat per reaktor adalah 800mL. Limbah kulit kentang yang dimanfaatkan berwujud cair dengan cara dihaluskan dahulu dengan air lalu disaring. Pengukuran tegangan dan arus dilakukan selama 15 hari dengan pengambilan data setiap 2 jam selama 15 jam per hari. Pada percobaan ini diperoleh produksi tegangan dan arus paling stabil pada Reaktor 5, dengan perbandingan volume lumpur dan limbah kulit kentang masing-masing 600mL dan 200mL. Reaktor 5 juga menghasilkan nilai daya rata-rata paling tinggi dari reaktor lain yaitu sebesar $206 \text{ mW}/\text{m}^2$. Sehingga pada penelitian ini, Reaktor 5 paling berpotensi menghasilkan daya listrik.

Kata Kunci: *Microbial fuel cell, single chamber SMFC, limbah kulit kentang, lumpur sawah.*

Abstract

Electrical energy is an energy with the highest demand and will continue to increase every year. Currently, most of electrical energy is still obtained from fossil energy which will cause a problem because the increasing demand of electricity will have an impact on increasing the use of fossil energy. The increasing electricity demand will lead to availability of fossil energy problem since fossil is not a renewable energy, it takes decades to be produced before is used on electricity producing. In this experiment, the Sediment Microbial Fuel Cell (SMFC) energy conversion technology was used as a solution in obtaining renewable electrical energy and of course more environmentally friendly. SMFC is an energy conversion technology that utilizes a substrate in the form of organic waste and sediment in the form of sludge to produce electrical energy. In this experiment, the substrate used was potato skin waste and field rice mud as sediment. The number of reactors used is 8 units, where each reactor varies the volume of the substrate which are potato skin waste and rice field mud. The total substrate volume on each reactor is 800mL. Potato skin waste which is used is liquid by blended it with water and then filtering it. Voltage and current measurements were carried out for 15 days with data collection every 2 hours for 12 hours per day. In this experiment, the most stable production of voltage and current was obtained at Reactor 5 with ratio volume of the sludge and waste potato skins are 600mL and 200mL respectively. So that in this study, Reactor 5 has the most potential to produce electric power.

Keyword : *Microbial fuel cell, single chamber SMFC, potato peels waste, field rice mud*



1. Pendahuluan

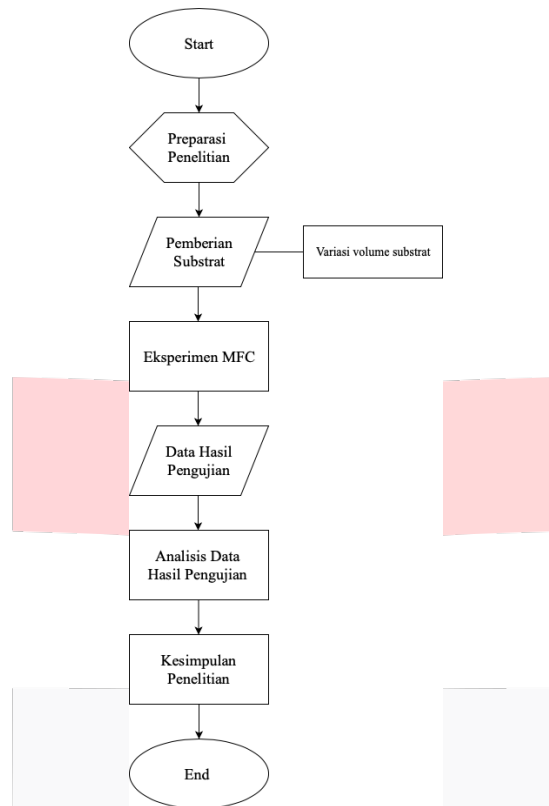
Listrik adalah salah satu energi yang paling banyak dibutuhkan, karena hampir seluruh kegiatan manusia saat ini membutuhkan energi listrik dalam penggunaannya. Bersumber dari buku *Outlook Energi Indonesia 2019* yang diterbitkan di *website* Kementerian Energi dan Sumber Daya Manusia (ESDM), disebutkan bahwa permintaan energi listrik selalu lebih tinggi dari energi jenis lainnya [1, p. 45]. Selain itu, dikatakan bahwa pada tahun 2050 permintaan listrik akan naik sembilan kali lipat dari tahun 2018. Permasalahan yang muncul dari meningkatnya konsumsi adalah ketersediaan dan kemampuan energi fosil sebagai sumber daya untuk terus memenuhi kebutuhan listrik. Hal tersebut dikarenakan energi fosil bukanlah energi baru terbarukan (EBT) yang dapat diperoleh kembali dalam waktu dekat apabila ketersediaannya menipis. Oleh karena itu, perlu adanya sumber daya energi listrik lain yang sifatnya dapat diperbarui serta ramah lingkungan. Salah satu sistem energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan adalah *Microbial Fuel Cell* (MFC).

MFC mengkonversi limbah organik menjadi energi listrik menggunakan peranan mikroorganisme berupa bakteri. Kemampuan dasar sistem MFC menjadi pertimbangan penyusun untuk mengkombinasikan MFC dengan substrat berupa lumpur sawah dan limbah kulit kentang. Jenis MFC yang digunakan adalah *single chamber sediment microbial fuel cell*. *Single chamber* adalah jenis reaktor MFC yang terdiri dari satu buah wadah pada setiap variasinya. Sementara *sediment* adalah proses penguraian limbah organik yang dilakukan pada suatu endapan, seperti endapan air laut, tanah, limbah air, maupun lumpur aktif [2]. Sedimen juga mengandung bakteri yang digunakan untuk mengurai limbah organik. Pada percobaan ini, sedimen yang dimanfaatkan berasal dari lumpur sawah.

Sampai saat ini, MFC di Indonesia masih dalam tahap pengembangan. MFC belum bisa diaplikasikan dalam mendukung aktivitas manusia secara langsung karena daya listrik yang dihasilkan masih tergolong kecil ($< 6 \text{ W/m}^2$; $\leq 500 \text{ W/m}^2$). Penelitian tentang sistem MFC sebetulnya sudah banyak dilakukan, namun pada percobaan ini, penyusun ingin mengetahui potensi besar listrik yang dapat dihasilkan sistem MFC apabila dikombinasikan dengan limbah organik lain yaitu kulit kentang dan lumpur sawah sebagai substrat menggunakan tipe reaktor *single chamber*. Diharapkan penelitian ini dapat menambah variasi substrat yang dapat digunakan dalam sistem MFC.

2. Metode Penelitian

Prosedur yang akan dilakukan pada penelitian ini dipetakan oleh rancangan penelitian pada Gambar 2.1.



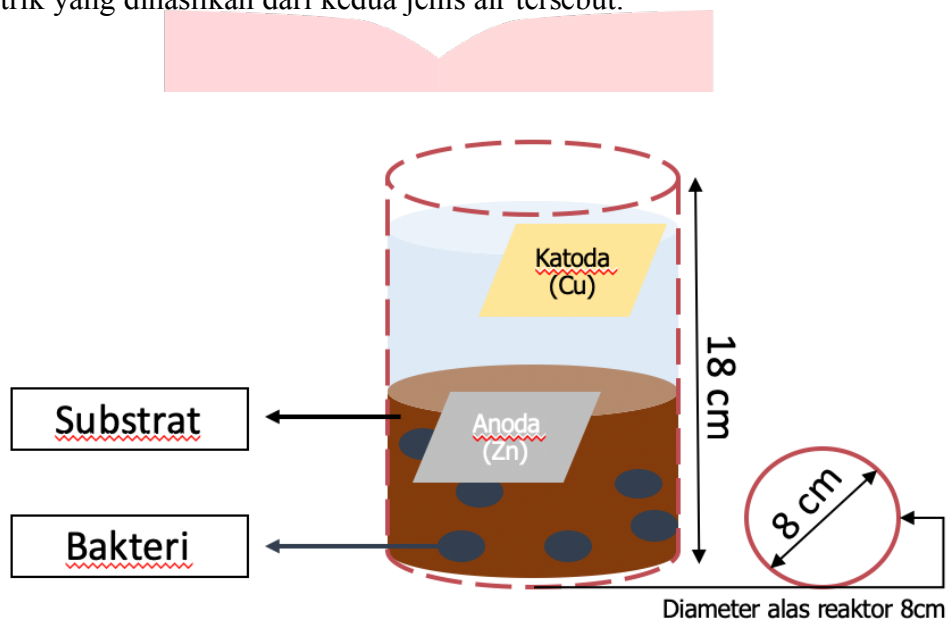
Gambar 2.1 Diagram alir rancangan prosedur penelitian

Sebelum penelitian dilakukan, penyusun melakukan studi literatur. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari jurnal maupun buku-buku yang berkaitan dengan SMFC dan memahami eksperimen-eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya. Penyusun juga mempelajari bagaimana desain *single chamber* yang akan digunakan pada penelitian mulai dari bahan, ukuran, dan susunan komponen yang ada di dalamnya. Di dalam *chamber* akan terisi anoda dan katoda berupa seng (Zn) dan tembaga (Cu).

Persiapan limbah dilakukan dengan menghaluskan kulit kentang dan air menggunakan blender. Perbandingan air dengan kulit kentang adalah 1:1. Hasil penghalusan kemudian disaring untuk memperoleh wujud limbah berupa cairan. Dalam pembuatan elektroda, digunakan plat tipis Zn dan Cu dengan ukuran 5 x 5 cm. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui besar arus dan tegangan yang dapat dihasilkan pada sistem SMFC dengan substrat lumpur sawah dan limbah kulit kentang. Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh rasio volume substrat terhadap hasil yang diperoleh. Melalui arus dan tegangan kemudian dapat dihitung besar kerapatan daya rata-rata yang dihasilkan.

2.1 Desain Alat Penelitian

Desain *single chamber* SMFC yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.2. Chamber diisi plat anoda dan katoda serta substrat berupa lumpur dan air limbah kulit kentang. Posisi anoda dan katoda dibedakan lagi, yaitu anoda di bagian bawah sedangkan bagian atas diletakkan katoda. Jarak antara anoda dan katoda adalah 5cm dan dihubungkan oleh kawat tembaga. Perbandingan volume substrat lumpur dan limbah kulit kentang ditunjukkan pada Tabel 2.1 dengan volume total pada setiap reaktor adalah 800mL. Reaktor 7 dan 8 terdiri dari substrat yang sama, yaitu limbah kulit kentang sebanyak 800mL. Perbedaan dari kedua reaktor tersebut adalah penggunaan jenis air dalam menghaluskan limbah kulit kentang. Pada Reaktor 7, air yang digunakan berasal dari sawah, sementara air pada Reaktor 8 menggunakan aquades murni. Variasi tersebut dibuat untuk mengetahui perbedaan tegangan dan arus listrik yang dihasilkan dari kedua jenis air tersebut.

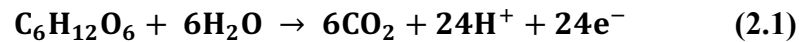


Gambar 2.2 Desain reaktor penelitian

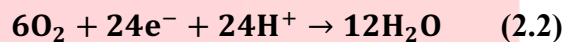
Tabel 2.1 Variasi volume substrat dalam penelitian

Reaktor	Volume Air Limbah (ml)	Volume Lumpur (ml)
1	600	200
2	500	300
3	400	400
4	300	500
5	200	600
6	0	800
7	800	0
8	800 (aquades)	0

Pada proses pembentukan arus dan tegangan di reaktor, bagian bawah reaktor akan terisi sedimen lumpur dan anoda. Bakteri akan mengurai kandungan limbah organik menjadi lebih sederhana dengan reaksi kimia pada Persamaan 2.1. Penguraian pada bagian anoda akan menghasilkan proton dan elektron



Setelah proton dan elektron dihasilkan, akan mengalami perpindahan ke katoda. Elektron pindah ke katoda melalui rangkaian eksternal (kabel), sedangkan proton berpindah melalui membran penukar proton. Pada katoda, akan terjadi reaksi kimia proton dengan oksigen dan membentuk H₂O. Reaksi pada katoda diuraikan dalam Persamaan 2.2.



Penguraian oleh bakteri yang menghasilkan elektron akan menyebabkan beda potensial antara daerah anoda dan katoda yang menyebabkan tegangan terbentuk. Sedangkan perpindahan elektron akan menghasilkan arus listrik.

2.2 Pengukuran Arus, Tegangan, dan Rapat Daya

Besar arus dan tegangan yang terbentuk pada reaktor diukur menggunakan multimeter. Pengukuran tegangan dilakukan secara *open circuit*, yaitu tidak menggunakan resistor. Sementara, pada pengukuran arus digunakan resistor sebesar 10 ohm. Setelah tegangan dan arus diperoleh, maka kerapatan daya (*power density*) dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.3). Pengambilan data dilakukan selama 15 hari dengan periode pengukuran setiap 2 jam selama 12 jam per hari.

$$\text{Power density} = \frac{I \times V}{A} \text{ (Watt/m}^2\text{)} \quad (2.3)$$

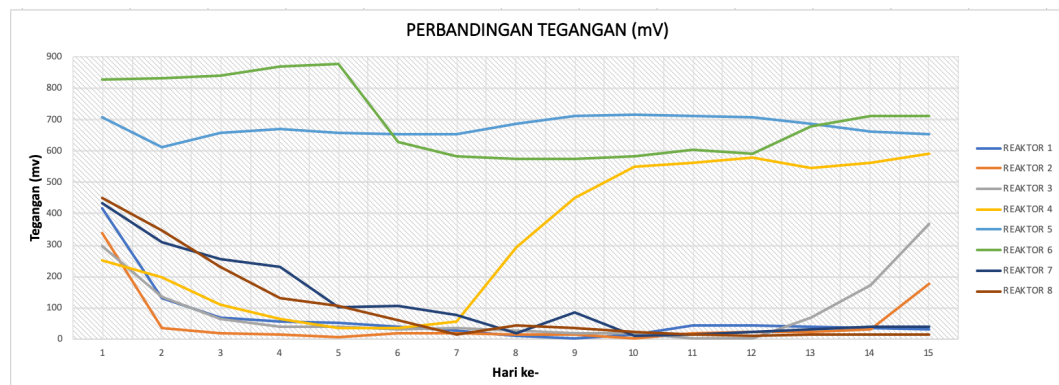
2.3

Keterangan :

- I = Arus yang dihasilkan (Ampere)
- V = Tegangan yang dihasilkan (Volt)
- A = luas permukaan elektroda (m²)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengukuran Tegangan



Gambar 3.1 Grafik hasil tegangan (mV)

Pada Gambar 3.1, masing-masing reaktor memberikan hasil yang berbeda. Pada Reaktor 1,2,3,7, dan 8 grafik langsung menunjukkan penurunan tegangan sejak hari pertama. Lima reaktor tersebut terdiri dari volume limbah kulit kentang yang lebih banyak dari volume lumpur. Penghasilan tegangan dan arus dalam SMFC berhubungan dengan kinerja bakteri di dalamnya, sehingga dapat terjadi kemungkinan bahwa pengaruh waktu dapat menurunkan aktivitas bakteri yang juga berakibat pada penurunan tegangan. Selain itu, pada lima reaktor tersebut (1,2,3,7, dan 8) dengan pemberian volume kulit kentang sebagai sumber nutrisi yang lebih banyak dari volume lumpur dapat menyebabkan efek nutrisi yang berlebihan. Sehingga, nutrisi berlebih tersebut menghambat dan menurunkan kinerja bakteri dalam reaktor untuk mengurai dan menghasilkan elektron. Akibatnya, tegangan yang dihasilkan dapat menurun.

Pada Reaktor 4, tegangan pada hari 1-7 mengalami penurunan, namun hari ke 7-15 mengalami kenaikan dan cenderung mulai stabil di hari ke 10-15. Fase hidup bakteri terdiri dari empat fase, diantaranya fase *lag*, eksponensial, stasioner, dan kematian [17]. Penurunan pada grafik berdasarkan pada fase hidup bakteri menandakan bakteri sedang mengalami fase *lag*. Fase *lag* adalah fase adaptasi bakteri yang terjadi di awal saat bakteri dipindah dari lingkungan asalnya ke lingkungan baru. Dalam hal ini, lingkungan yang dimaksud adalah lingkungan lumpur sawah yang dipindah ke dalam reaktor. Adaptasi dilakukan agar bakteri dapat menyesuaikan kondisi lingkungan sekitarnya untuk mendukung proses penguraian. Pada hari ke 7-9 tegangan mulai mengalami kenaikan, menandakan adanya fase eksponensial yang terjadi. Fase eksponensial adalah fase yang ditandai adanya kenaikan pada grafik dengan bentuk eksponensial. Fase eksponensial menandakan adanya pembelahan atau pertumbuhan mikroba, sehingga aktivitas mikroba meningkat. Peningkatan aktivitas bakteri ini dapat mempengaruhi proses penguraian substrat dan penghasilan elektron yang meningkat, sehingga produksi tegangan naik. Pada fase eksponensial ini, mikroba membutuhkan nutrisi yang lebih banyak dari fase lain agar bakteri dapat berkembang biak. Selanjutnya, pada hari ke 10-15 menunjukkan grafik tegangan yang mulai stabil kenaikannya. Pada fase hidup bakteri, fase stabil ini dinamakan fase stasioner yang menandakan bahwa

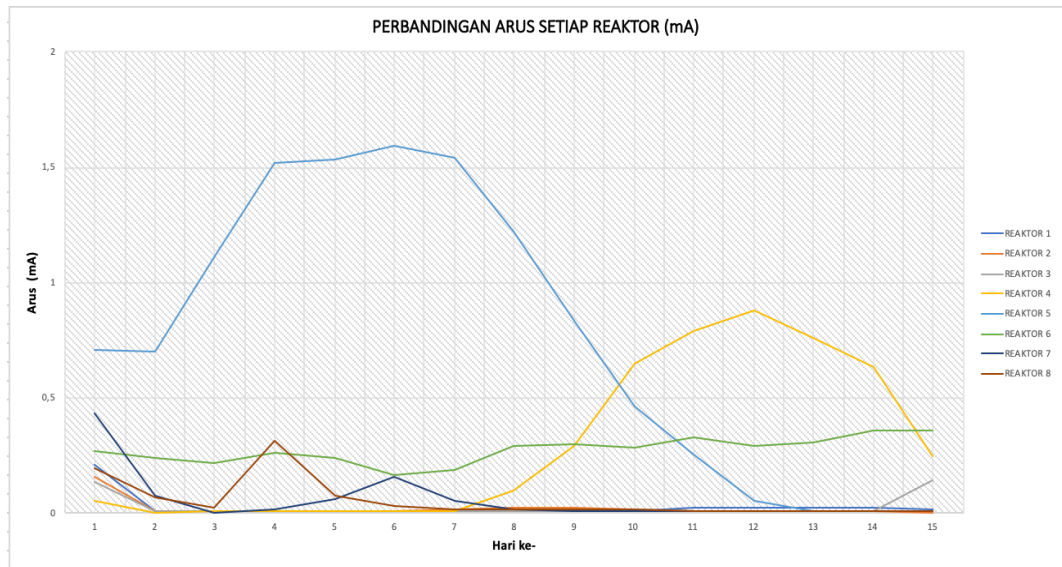
bakteri sudah beradaptasi dengan lingkungan dan bekerja secara stabil. Kematian bakteri pun cenderung kecil pada fase ini. Fase stasioner berlangsung hingga hari ke-15 dan dihasilkan tegangan tertinggi pada hari ke-12.

Reaktor 5 menunjukkan grafik tegangan yang cukup stabil dari hari pertama sampai hari ke-15. Tidak ada penurunan yang drastis maupun kenaikan yang eksponensial. Menghubungkannya dengan fase hidup bakteri, pada Reaktor 5 di hari 1-2 mengalami penurunan awal yaitu fase adaptasi atau *lag*. Setelah itu, pada hari ketiga, grafik mulai naik dan stabil sampai hari ke-15. Hal ini menandakan proses adaptasi bakteri terhadap lingkungan baru pada reaktor 5 hanya sebentar dan langsung dapat menghasilkan tegangan yang stabil pada hari ke-3 sampai akhir pengukuran. Sehingga, lingkungan yang diberikan pada reaktor 5 dapat diterima dengan baik oleh bakteri, sehingga aktivitas penghasil elektron oleh bakteri dapat berjalan stabil dan berpengaruh terhadap produksi tegangan.

Pada reaktor 6, nilai tegangan di hari pertama langsung mengalami kenaikan namun tidak eksponensial. Kenaikan terjadi sampai titik tertingginya di hari ke-5. Diperkirakan, pada hari pertama sampai hari ke-5, bakteri mengalami pertumbuhan yang membutuhkan nutrisi lebih. Dengan reaktor 5 yang tidak memiliki nutrisi tambahan dari limbah kulit kentang, maka proses pertumbuhan bakteri hanya terjadi dalam 5 hari pertama. Setelah itu, fase hidup bakteri mengalami penurunan selama 2 hari dan kemudian berada pada fase stasioner dari hari ke-6 sampai ke-12. Pada hari ke-13 sampai ke-15, grafik naik kembali.

Secara keseluruhan, nilai tegangan tertinggi diperoleh pada Reaktor 6, namun produksi tegangannya tidak stabil. Tegangan yang stabil terdapat pada Reaktor 5, di mana kestabilannya bertahan dari hari pertama sampai hari terakhir pengukuran. Hal tersebut mengindikasikan bahwa lingkungan kerja reaktor mendukung aktivitas bakteri dalam mengurai limbah untuk menghasilkan tegangan, sehingga penghasilan tegangan berjalan stabil selama 15 hari. Selain lingkungan kerja, bakteri juga dapat dukungan nutrisi dari limbah kulit kentang yang digunakan sebagai bahan penguraian dan menghasilkan elektron. Untuk Reaktor 4 juga dinilai menghasilkan tegangan yang stabil, hanya saja butuh waktu lebih lama untuk berada pada fase stabil tersebut, yaitu 7 hari. Sehingga, dalam penghasilan tegangan, Reaktor 5 dinilai paling berpotensi dalam menghasilkan tegangan.

3.2 Pengukuran Arus



Gambar 3.2 Grafik pengukuran arus (mA)

Reaktor 1,2,3,7, dan 8 berdasarkan Gambar 3.2 menunjukkan arus mengalami penurunan sejak hari pertama. Lima reaktor tersebut terdiri dari volume limbah kulit kentang yang lebih banyak dari volume lumpur. Semakin banyak elektron yang berpindah, maka semakin besar pula arus yang dihasilkan. Faktor penurunan arus yang terjadi diindikasikan oleh menurunnya jumlah transfer elektron yang dipengaruhi oleh menurunnya kemampuan bakteri untuk mengurai substrat [18, p. 111] dan mentransfer elektron. Dengan hubungan aktivitas bakteri terhadap produksi arus, kemungkinan perbandingan volume substrat yang diberikan pada reaktor-reaktor tersebut justru menjadi menghambat pergerakan bakteri. Pemberian kulit kentang yang berperan sebagai nutrisi dalam jumlah yang lebih banyak dari volume lumpur diperkirakan dapat menyebabkan nutrisi yang diberikan pada bakteri berlebihan. Sehingga, menjadi penghambat bagi bakteri untuk beraktivitas dalam proses perpindahan elektron dan mempengaruhi produksi arus.

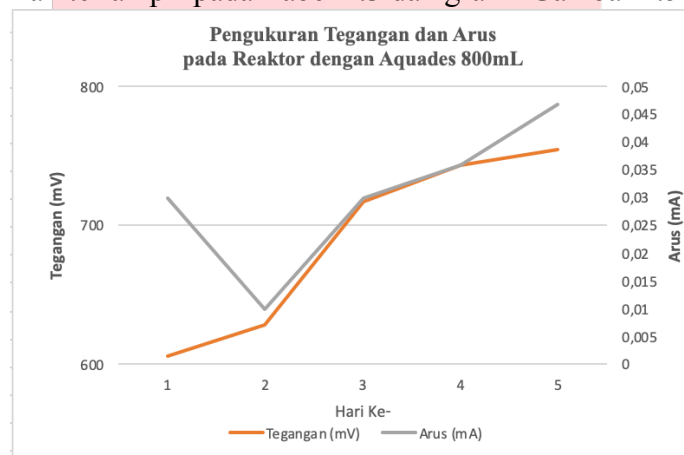
Reaktor 4 merupakan reaktor dengan perbandingan volume lumpur dan arus masing-masing adalah 500mL dan 300mL. Sama seperti pengukuran tegangan, grafik arus pada hari 1-7 mengalami penurunan (fase *lag*), namun hari ke-7-10 mulai mengalami kenaikan (fase eksponensial). Selanjutnya, hari ke-10 sampai ke-14 grafik cenderung stabil (fase stasioner). Pada hari ke-15, grafik mengalami penurunan yang kemungkinan berhubungan dengan penurunan kinerja bakteri, sehingga arus yang dihasilkan juga menurun.

Pada Reaktor 5, bakteri menunjukkan fase *lag* pada hari pertama dan kedua, kemudian mengalami fase eksponensial pada hari ke-2 sampai ke-4, serta meraih arus tertinggi pada hari ke-6. Selanjutnya, bakteri mengalami fase stasioner selama 4 hari, dari hari ke-4 sampai hari ke-7. Pada hari ke-7, bakteri mengalami penurunan performa hingga mencapai titik terendah di hari ke-12 dan bertahan sampai hari terakhir pengukuran. Pada reaktor 6, arus cenderung stabil yang tidak menunjukkan kenaikan maupun penurunan tajam. Namun, disbanding reaktor 5 dan 6, nilai nya sangat kecil dengan maksimal nilai 0,32mA.

Nilai arus tertinggi diperoleh pada Reaktor 5, dengan produksi arus stabil selama 4 hari. Untuk reaktor 4 juga mengalami kestabilan dan pola grafik yang kurang lebih sama dengan Reaktor 5. Namun, sama seperti pengukuran tegangan, butuh waktu lebih lama untuk arus mencapai kestabilan pada reaktor ini. Hal ini mengindikasikan bahwa pada Reaktor 5 kondisi kerja yang diberikan memudahkan bakteri untuk beradaptasi lebih cepat, sehingga kestabilan nilai arus lebih cepat dicapai. Dengan nilai arus tertinggi dimiliki Reaktor 5, menandakan bahwa peran bakteri dalam perpindahan elektron juga berjalan paling optimal dalam memperoleh nilai arus paling tinggi dari reaktor lain. Sehingga, ditarik kesimpulan bahwa potensi arus terbaik dihasilkan oleh Reaktor 5.

3.3 Pengukuran Tegangan dan Arus pada Aquades Murni

Sebagai data tambahan, dilakukan pengukuran tegangan dan arus yang dihasilkan dari aquades murni sebanyak 800mL selama 5 hari. Hasil tegangan dan arus yang dihasilkan terlampir pada Tabel 4.3 dan grafik Gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 3.3 Grafik tegangan dan arus aquades murni

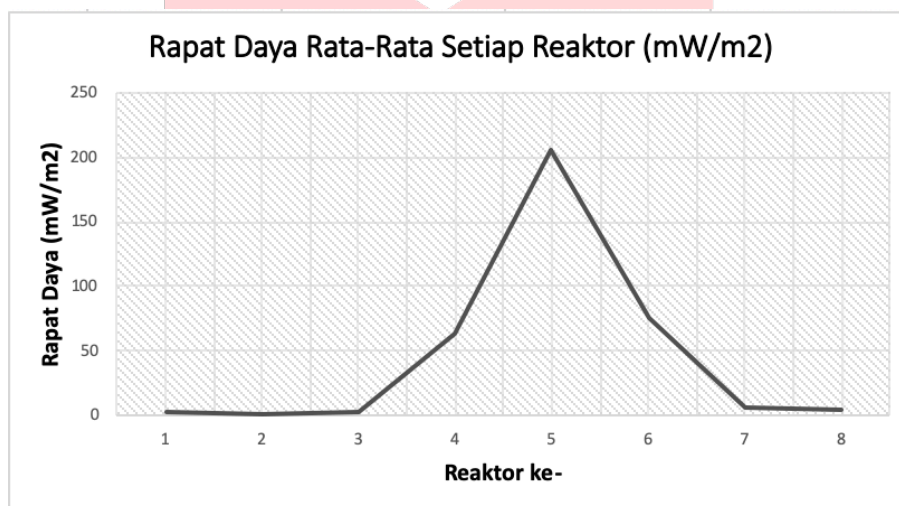
Pada hasil pengukuran tegangan dan arus menggunakan aquades murni tanpa tambahan sedimen maupun limbah tersebut, dihasilkan rata-rata tegangan dan arus masing-masing sebesar 690,3mV dan 0,031mA. Secara teoritis, penghasilan tegangan tanpa ada tambahan substrat seharusnya mencapai 1,1V. Namun pada kenyataannya, tegangan yang dihasilkan dari pengukuran tersebut tidak mencapai tegangan teoritis sebelumnya, yaitu 1,1V. Hal ini dapat disebabkan karena adanya rugi-rugi atau *loss* yang dapat disebabkan oleh elektroda maupun cairan yang digunakan itu sendiri [15]. Oleh karena itu, secara praktikal tegangan maksimum SMFC dalam pengukuran *open circuit* mencapai kisaran 750-800mV saja [15]. Selain itu, dalam meningkatkan tegangan dapat dipengaruhi oleh hambatan dalam. Hambatan dalam adalah hambatan yang mempengaruhi performa SMFC, terdiri dari resistensi yang berasal dari anoda, katoda, membran, dan elektrolit yang terlibat. Resistansi internal akan membatasi produksi arus dan rapat daya pada SMFC, namun meningkatkan produksi tegangan. Semakin tinggi resistansi internal, maka produksi tegangan juga semakin tinggi, berdampingan dengan turunnya daya dan arus yang dihasilkan [19].

Pengukuran arus dengan substrat aquades menunjukkan perbedaan dengan hasil pengukuran arus pada reaktor yang menggunakan substrat limbah dan lumpur

(Reaktor 4,5,dan 6). Hal ini dilihat dari arus yang diperoleh dari reaktor aquades menunjukkan hasil yang sangat kecil, maksimum hanya 0,03mA. Sementara, pada Reaktor 4,5,dan 6 diperoleh nilai arus terkecil sebesar 0,01mA dan terus meningkat. Hal tersebut membawa pada suatu penilaian bahwa penambahan substrat pada SMFC akan membantu dalam peningkatan produksi arus, karena adanya bantuan tambahan dari bakteri dan nutrisi yang dapat membentuk dan membantu perpindahan elektron yang mempengaruhi produksi arus.

3.4 Pengukuran Rapat Daya

Rapat daya kemudian dihitung dari tegangan dan arus yang diperoleh oleh setiap reaktor per hari. Rapat daya dihitung dengan mengalikan tegangan dengan arus dan dibagi dengan luas permukaan elektroda yaitu 25cm^2 . Hasil rapat daya setiap reaktor selama 15 hari kemudian dijumlah dan dirata-rata. Sehingga, dihasilkan rapat daya rata-rata setiap reaktor yang disajikan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Grafik rapat daya rata-rata

Nilai rapat daya rata-rata maksimum dihasilkan oleh Reaktor 5 sebesar $206 \text{ mW}/\text{m}^2$. Pada reaktor 5, proses produksi dan perpindahan elektron terjadi lebih optimal dari reaktor lain, sehingga menghasilkan arus dan tegangan yang lebih stabil. Dengan pengaruh arus dan tegangan terhadap daya yang dihasilkan, Reaktor 5 dinilai paling berpotensi menghasilkan daya listrik yang stabil dibanding reaktor lain. Selain itu, dibanding Reaktor 4, Reaktor 5 membutuhkan waktu yang lebih sedikit untuk bakteri beradaptasi dan mencapai titik stasionernya, di mana titik stasioner menunjukkan bahwa bakteri sudah beradaptasi dengan lingkungan barunya yaitu reaktor.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisis yang dilakukan terhadap tegangan dan arus listrik yang dihasilkan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Reaktor 5 dengan variasi lumpur 600mL dan limbah 200mL dinilai lebih berpotensi menghasilkan daya karena tegangan dan arus yang dihasilkan lebih stabil dari reaktor lain. Selain itu, waktu yang diperlukan untuk mencapai titik stabil lebih cepat. Bila dihubungkan pada fase kerja bakteri, bakteri dinilai lebih mudah beradaptasi terhadap lingkungan yang diberikan pada Reaktor 5 dan menghasilkan aktivitas yang stabil baik dalam produksi maupun perpindahan elektron.
2. Air limbah kulit kentang dinilai masih dibutuhkan dalam proses penghasilan energi listrik, yaitu dimanfaatkan kandungannya sebagai nutrisi dalam metabolisme bakteri. Dengan catatan, pada eksperimen ini jumlah volume limbah kulit kentang tidak lebih banyak dari volume lumpur yaitu dengan volume lumpur 600 mL dan limbah kulit kentang 200 mL. Aktivitas dari bakteri yang diperoleh dari lumpur akan optimal apabila kondisi lingkungan kerjanya tidak jauh berbeda dengan lingkungan saat bakteri tersebut masih di daerah asalnya, yaitu lumpur sawah. Hal ini akan membuat bakteri lebih mudah beradaptasi dan dapat bekerja dengan optimal.

Reference

- [1] Kementrian Energi dan Sumber Daya Manusia, in *Outlook Energi Indonesia 2019*, Jakarta, Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019, p. 45.
- [2] A. L. Kothapalli, "Sediment Microbial Fuel Cell as Sustainable Power Resource," *Theses and Dissertations*, p. 10, 2013.
- [3] I. Durruty , P. S. Bonanni, J. F. Gonzalez and J. P. Busalmen , "Evaluation of Potato-Processing Wastewater Treatment in a Microbial Fuel Cell," *Bioresource Technology*, pp. 81-87, 2012.
- [4] L. Utami, L. and Y. Fatisa, "Produksi Energi Listrik dari Limbah Kulit Pisang (Musa Paradisiaca L.) Menggunakan Teknologi Microbial Fuel Cells dengan Permanganat sebagai Katolit," *al-Kimiya*, vol. 5, pp. 62-67, 2018.
- [5] J. Prasad and R. K. Tripathi, "Maximum Electricity Generation from Low Cost Sediment Microbial Fuel Cell using Copper and Zinc Electrodes," *Interbational Conference on Information, Communication, Instrumentation and Control*, pp. 1-4, 2017.
- [6] M. R. Harahap, "Sel Elektrokimia : Karakteristik dan Aplikasi," *Circuit*, vol. 2, p. 177, 2016.
- [7] R. Rozendal , B. Hamelers, U. Schroder, J. Keller, S. Freguia, P. Aelterman, B. E. Logan, W. Verstraete and K. Rabaey, "Microbial Fuel Cells :

- Methodology and Technology," *Environmental Science & Technology*, vol. 40, 2006.
- [8] M. Zhou, M. Chi, J. Luo, H. He and T. Jin, "An Overview Electrode Materials in Microbial Fuel Cell," *Journal of Power Sources*, pp. 4227-4435, 2011.
- [9] A. Patra and A. Patra, "Low-Cost, Single-Chambered Microbial Fuel Cells for Harvesting Energy and Cleansing Wastewater," *Journal of the U.S. SJWP*, p. 74, 2008.
- [10] D. R. Lovely, "The Microbe Electric: Conversion of Organic Matter to Electricity," vol. 19, pp. 564-571, 2018.
- [11] H. Liu, R. Ramnarayanan and B. E. Logan, "Production of Electricity during Wastewater treatment Using a Single Chamber Microbial Fuel Cell," *Environmental Science & Technology*, vol. 38, p. 2281, 2004.
- [12] E. Toklu, A. C. Avcı and M. Yegin, "The Surface Area's Effects of Proton Exchange Membran and Electrode on Power Generation in a Hexagonal Single Chamber Microbial Fuel Cell," *Journal of Engineering Research and Applied Science*, vol. 6, p. 559, 2017.
- [13] D. E. H. Purba, I. E. Suprihatin and A. M. Laksmiwati, "Pembuatan Etanol dari Kupasan Kulit Kentang (*Solanum tuberosum* L.) dengan Proses Fermentasi," *Kimia FMIPA Universitas Udayana*, pp. 155-160, 2016.
- [14] T. and M. Tensiana, "Optimasi Hidrolisis Pati dalam Limbah Kulit Kentang oleh *Aspergillus niger* untuk Produksi Bioetanol," *Skripsi*, 2011.
- [15] D. Das, *Microbial Fuel Cell A Bioelectrochemical System that Converts Waste to Watts*, New Delhi: Springer International Publishing, 2018.
- [16] E. S. Zalukhu, "Produksi Energi Listrik dengan Sistem Microbial Fuel Cell menggunakan Substrat Limbah Tempe," *Tugas Akhir*, p. 20, 2019.
- [17] M. Dra. Yanti Hamdiyati, "Pertumbuhan dan Pengendalian Mikroorganisme II," pp. 2-3.
- [18] B. E. Logan, in *Microbial Fuel Cells*, New Jersey, John Wiley & Sons, 2007, p. 52.
- [19] A. K. Manohar and F. Mansfeld, "the Internal Resistance of a MFC and its Dependence on Cell Design and Operating Condition," *Electrochimica Acta*, vol. 54, p. 1670, 2009.