

ANALISIS PENGARUH LUAS PENAMPANG ELEKTRODA TERDISTRIBUSI TERHADAP KARAKTERISTIK ARUS DAN TEGANGAN PADA SEL TUNAM MIKROBA

ANALYSIS INFLUENCES OF DISTRIBUTED ELECTRODE CROSS-SECTION AREA TO CHARACTERISTICS OF CURRENT AND VOLTAGE IN MICROBIAL FUEL CELL

Cynthia Kemala Dewi Anggraeni¹, Reza Fauzi Iskandar², M. Ramdhan Kirom³

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

¹cynthiakda@student.telkomuniversity.ac.id, ²rezafauzii@gmail.com,

³mramlandkirom@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sel Tunam Mikroba (STM) merupakan salah satu energi terbarukan yang dapat menghasilkan energi listrik dengan metode bio-elektrokimia, yang mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik dengan memanfaatkan metabolisme alami dari mikroba. Elektroda pada kompartemen anoda dan katoda menggunakan pelat logam dari beberapa jenis material seperti tembaga dan seng. Reaktor pada STM ini menggunakan skema *single chamber* memiliki satu ruang yang berisi substrat dan larutan elektrolit. Kompartemen anoda berwujud di lingkungan terbuka dengan empat bagian yang dilengkapi dengan pelat elektroda yang terdistribusi menjadi empat bagian dengan masing-masing dimensi 5 cm × 2 cm dan mengelilingi kompartemen katoda, sedangkan pada kompartemen katoda berbentuk tabung yang memiliki diameter 10 cm dan tinggi 15 cm. Kedua kompartemen tersebut dihubungkan oleh jembatan garam. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh luas penampang elektroda terdistribusi terhadap karakteristik arus dan tegangan pada sel tunam mikroba. Selain itu untuk mengetahui pengaruh luas penampang dan jumlah elektroda terhadap produksi listrik yang dihasilkan.

Kata kunci : Sel Tunam Mikroba, Elektroda, Karakteristik Arus dan Tegangan

Abstract

The need for energy in the world will increase by the time, we cannot just rely on fossil energy because its existence will run out in the near future. The use of energy from biomass is the solution. Microbial Fuel Cell (MFC) is one of the solutions to biomass energy utilization. In this study, the design of the MFC aim to produce electricity is more constant. Semi-continuous system becomes a solution for electricity that is relatively constant compared with using a batch-substrate system. The construction of MFC uses a double chamber system consisting of a cathode compartment with Cu electrodes and anode compartment using Zn electrodes and substrate prepared by a fish pond sediment and spoiled rice. In building the system, semi-continuous MFC's can be approved using a dispenser-like container to facilitate substrate entering into the system. After the reactor is made, the voltage can be read by the data logger or using a multimeter. the result of a semi-continuous MFC reactor process is a graph of voltage output compared to the time spent stable. the results of the semi- continuous MFC reactor is a voltage output graph compared to a time that is close to stable where the value of the variance in the reactor with the addition of 75ml every three days has the closest value to zero which means the most stable. The variance value at the most stable reactor has a variance value of 0.00159 with average of voltage is 0.648V.

Keywords: Microbial Tunam Cell, Distributed Electrodes, Current and Voltage Characteristics.

1. Pendahuluan

Pada periode 2012-2018, penggunaan energi di Indonesia meningkat rata-rata sebesar 4,71% per tahun. Menurut data yang dikeluarkan oleh BPPT dalam Outlook Energi Indonesia 2018, kebutuhan energi seperti bahan bakar minyak (BBM) secara terus-menerus akan meningkat, tergantung jumlah populasi manusia yang semakin bertambah. Banyaknya permintaan sangat berpengaruh terhadap harga sehingga menjadi sangat tinggi, ditambah lagi dengan rasio cadangan produksi sumber energi fosil [1]. Potensi pemanfaatan batubara merupakan yang paling tinggi sekitar 75 tahun kemudian akan habis, sedangkan untuk pemanfaatan potensi gas masih dapat bertahan sampai 33 tahun kemudian menurut data yang dikeluarkan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) dalam Outlook Energi

Indonesia 2018 [1].

STM atau MFC dikenal sebagai suatu sistem bio-elektrokimia yang dapat mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik dengan memanfaatkan metabolisme alami dari mikroba [6]. MFC dapat menghasilkan arus listrik dari berbagai macam substrat organik dengan memanfaatkan metabolisme bakteri. Beberapa jenis macam bahan organik *biodegradable* yang dapat digunakan dalam MFC seperti karbohidrat, protein, asam volatil, alkohol dan selulosa [7]. Peranan penting dalam MFC adalah pemilihan elektroda yang tepat (katoda dan anoda) yang dapat mempengaruhi daya keluaran [8]. Jarak antar elektroda juga sangat penting dalam kinerja MFC, sehingga jarak harus sedekat mungkin untuk mengatasi kebocoran listrik dan mengurangi nilai resistansi internal [9].

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Akbar (2017), “Analisis Pengaruh Material Logam Sebagai Elektroda Microbial Fuel Cell terhadap Produksi Energi Listrik”, dengan menggunakan alumunium, seng, dan tembaga sebagai elektroda dan lumpur sawah sebagai substrat. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan nilai tegangan yang dihasilkan sebesar 0,466 V, kuat arus sebesar 0,14 mA, dan kerapatan daya 32,62 dengan menggunakan kombinasi seng dan tembaga [10].

Dalam penelitian tugas akhir ini, peneliti akan melakukan eksperimen yang berkaitan dengan pengaruh luas penampang elektroda terdistribusi terhadap karakteristik arus dan tegangan pada sel tunam mikroba. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metoda skema *single chamber*. Kompartemen anoda berwujud terbuka di lingkungan dengan empat bagian yang dilengkapi dengan pelat elektroda yang terdistribusi menjadi empat bagian dengan masing-masing dimensi 5 cm × 2 cm dan mengelilingi kompartemen katoda, sedangkan pada kompartemen katoda berbentuk tabung yang memiliki diameter 10 cm dan tinggi 15 cm. Kedua kompartemen tersebut dihubungkan oleh jembatan garam. Sistem pengukuran pada sel tunam mikroba ini tidak pada reaktor tertutup, tetapi pada reaktor terbuka ataupun bebas yang diukur menggunakan multimeter.

2. Dasar Teori

2.1. Reaksi Oksidasi-Reduksi

Dalam prosesnya menghasilkan listrik, Sel Tunam Mikrona memenuhi reaksi reduksi oksidasi. Reaksi reduksi oksidasi (redoks) adalah reaksi penerimaan dan pelepasan elektron (adanya transfer elektron). Oksidasi adalah peristiwa terjadinya pelepasan elektron yang ditandai dengan kenaikan bilangan oksidasi. Sedangkan reduksi adalah peristiwa terjadinya penerimaan elektron yang ditandai dengan penurunan bilangan oksidasi [11].

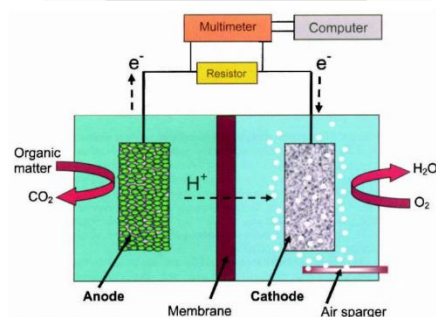
2.2. Sel Volta

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 [11]. Reaksi reduksi oksidasi dapat berlangsung secara spontan apabila potensial elektroda pada katoda lebih besar daripada potensial elektroda pada anoda.

2.3. Sel Tunam Mikroba

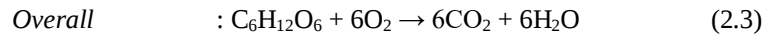
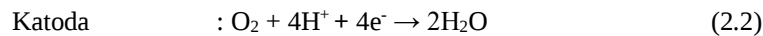
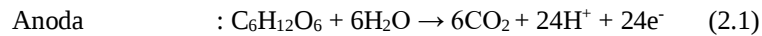
2.3.1. Prinsip Kerja Sel Tunam Mikroba

Sel Tunam Mikroba (Microbial Fuel Cell) adalah suatu sistem bio-elektrokimia yang bisa mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik dengan memanfaatkan metabolisme alami dari mikroba [6].



Gambar 2.1 Skema prinsip kerja Sel Tunam Mikroba

Reaksi yang berlangsung pada STM dengan substrat berupa glukosa dan oksigen sebagai elektron aseptor, sebagai berikut



2.3.2. Reaktor Sel Tunam Mikroba

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

1. Single Chamber

Single Chamber hanya memiliki satu wadah yang didalamnya terdapat elektroda yaitu katoda dan anoda[19]. Pada umumnya, anoda terletak diantara substrat sedangkan katoda berada diantara substrat dan udara.

2. Dual Chamber

Pada *Dual Chamber* 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 dalam menghasilkan listrik. Sedangkan pada ruang katoda terdapat larutan elektrolit[19].

3. Stack Chamber

Rangkaian dari beberapa unit dari *Single Chamber* STM maupun *Dual Chamber* STM yang dirangkai seri, paralel, ataupun seri paralel.

2.3.3. Elektroda

Dalam pemanfaatan Sel Tunam Mikroba, 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 STM. Untuk menghindari kebocoran listrik atau mengurangi nilai resistansi internal, maka jarak antar dioda harus diletakkan sedekat mungkin.

2.3.4. Substrat

Substrat merupakan sumber untuk menghasilkan listrik dalam sistem STM sebagai bahan organik dan mikroba didalam substrat dapat berubah menjadi bioelektrokimia. Dalam mikroba terdapat kandungan lumpur aktif yang dapat digunakan pada STM untuk menghasilkan energi listrik melalui penghancuran senyawa-seyawa organik. Contoh lumpur aktif yang biasa digunakan seperti ekosistem yang kompleks terdiri dari bakteri, protozoa, virus, dan organisme-organisme lainnya [18].

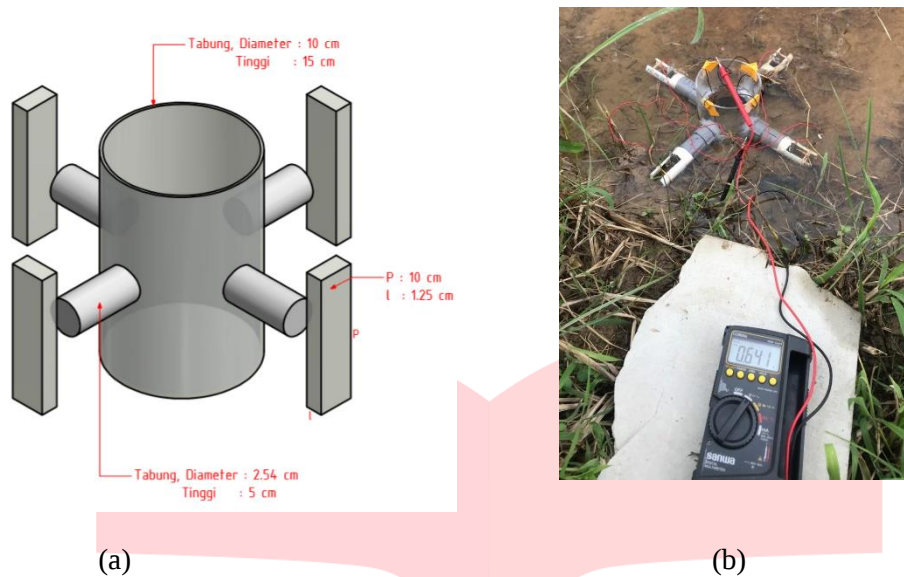
2.3.5. Pengaruh Variasi Jumlah Elektroda

Luas permukaan yang tersedia untuk pertumbuhan bakteri merupakan indikator dari kapasitas untuk menghilangkan polutan. Jadi, semakin besar luas permukaan maka akan banyak bakteri yang melekat di area permukaan. Semakin banyak jumlah elektroda maka luas permukaan semakin besar dan bakteri akan semakin banyak menempel. Salah satu faktor yang mempengaruhi elektroda adalah besarnya luas permukaan [28]. Selain itu untuk mencapai kinerja MFCs yang lebih baik yaitu material anoda harus memiliki luas permukaan yang lebih besar [29].

3. Metodologi Penelitian

3.1. Konstruksi Reaktor STM

Pada tahap konstruksi rangkaian reaktor sistem STM ini terdiri dari dua kompartemen yaitu kompartemen anoda dan kompartemen katoda dengan metoda skema *single chamber*. Kompartemen anoda dirancang dengan wujud terbuka dimana substrat ditampung sedangkan kompartemen katoda berbentuk tabung terbuat dari akrilik diisi dengan larutan aquades dengan volume 700 mL dan suplai oksigen secara terbuka. Konstruksi sistem STM dapat dilihat paada Gmabar 1.



Gambar 1 (a) Konstruksi alat yang akan digunakan, (b) Alat yang digunakan pada penelitian

3.2. Preparasi Eksperimen

a. Preparasi Elektroda

Material elektroda yang digunakan pada penelitian ini adalah lempengan seng (Zn) pada kompartemen anoda dan lempengan tembaga (Cu) pada kompartemen katoda. Luas permukaan dari tiap sisi elektroda sebesar 10 cm^2 . Sebelum pemakaian, elektroda diampelas untuk membersihkan zat pengotor maupun *biofilm* yang terletak pada permukaan elektroda.

b. Preparasi Jembatan Garam

Pembuatan jembatan garam dilakukan dengan merendam sumbu kompor berukuran 5 cm kedalam larutan NaCl. Larutan NaCl dibuat menggunakan senyawa NaCl 1 M kedalam air mendidih selama 15 menit.

c. Preparasi Substrat

Substrat yang digunakan dalam sistem STM adalah lumpur yang diambil dari sawah. Tanpa penambahan larutan lainnya, substrat alami akan dipersiapkan pada saat pengukuran dilakukan dengan cara mencelupkan sistem ke dalam substrat yang akan digunakan. Terdapat beberapa kandungan asam organik didalam lumpur sawah yang dapat dijadikan sebagai bahan bakar yaitu asam asetat, butirat, suksinat, dll [21].

3.3. Pengukuran Tegangan dan Kuat Arus Pada Sistem STM

$$P (\text{Daya}) = \text{Tegangan (V)} \times \text{Arus (A)} \quad (3.1)$$

$$P^d (\text{Rapat Daya}) = \frac{P (W)}{\text{Luas Permukaan (m}^2\text{)}} \quad (3.2)$$

$$E (\text{Energi}) = P (W) \times t (\text{detik}) \quad (3.3)$$

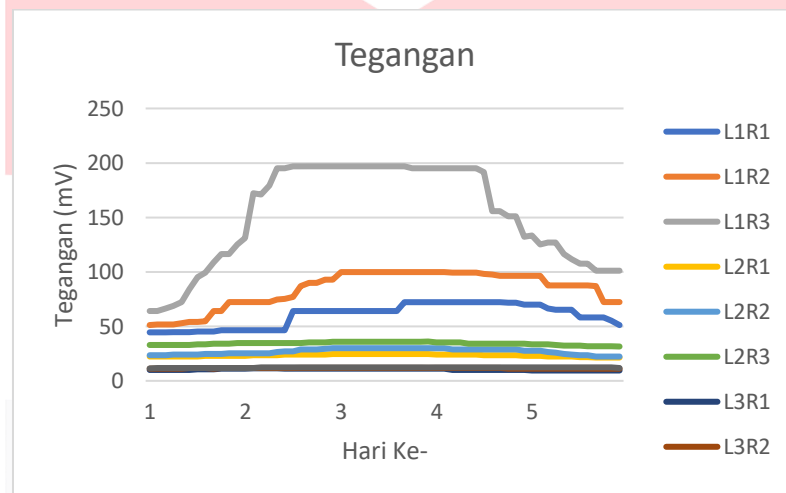
4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus

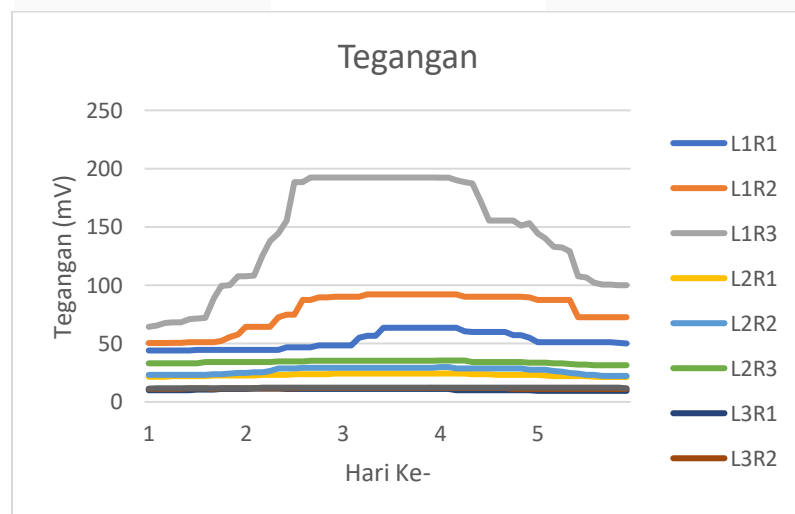
Pada percobaan ini, dilakukan di sawah sekitar rumah peneliti, Perum Manggis Square (Lumpur Sawah A) dan lumpur sawah sekitar Universitas Telkom (Lumpur Sawah B) selama 5 hari dengan mengukur arus dan tegangan yang dihasilkan pada masing-masing jarak pada elektroda dengan jembatan garam yang telah diatur. Terdiri dari 3 jarak yaitu 1 cm, 2 cm, dan 3 cm. Di setiap jaraknya dilakukan pengukuran 3 kali yaitu pertama elektroda pada pipa 1 dan 2, kedua elektroda pada pipa 1, 2, dan 3, dan ketiga elektroda pada pipa 1, 2, 3, dan 4. Pada pengukuran ini difokuskan untuk mengukur tegangan dan arus melalui perbedaan banyak elektroda yang terdistribusi dan jarak elektroda untuk mengetahui pengaruhnya.

Pengambilan data dengan keadaan sawah yang mempunyai padi berusia sekitar 100 sampai 110 hari dimana merupakan masa panen. Sebelum pengambilan data, seharusnya dilakukan pengecekan kondisi pH, temperatur, EC, dan TDS menggunakan *Multimeter Hanna Instruments* tipe H19811-5. Namun keterbatasan alat yang tidak bisa dibawa, pengecekan tersebut tidak dilakukan.

Pengukuran tegangan dan arus pada sistem STM dilakukan menggunakan *Multimeter Sanwa* tipe CD800a. Tegangan dan arus diukur setiap 5 menit selama 1 jam sekali dan dilakukan berulang selama 5 hari. Pengukuran pada sistem ini tidak menggunakan hambatan atau beban listrik seperti resistor, sehingga tegangan yang terukur dapat disebut sebagai *Open Circuit Voltage* atau Tegangan Sirkuit Terbuka dan kuat arus yang terukur disebut sebagai *Short Circuit Current* atau Arus Sirkuit Tertutup. Untuk data hasil pengukuran tegangan dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.

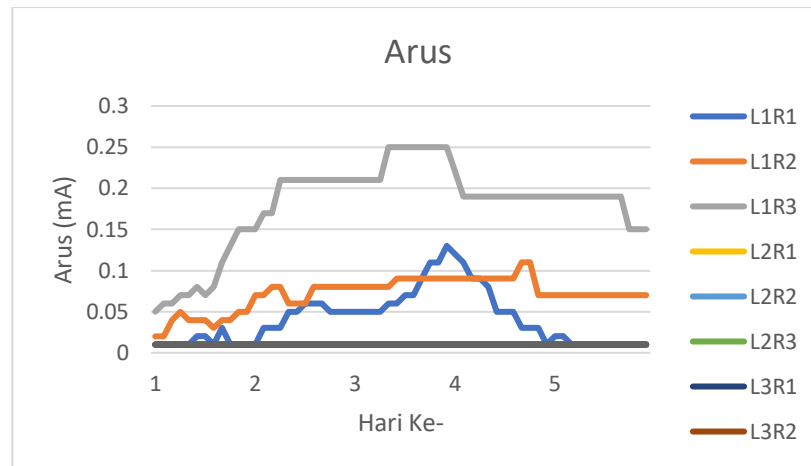


Gambar 4.3 Grafik pengukuran tegangan pada Lumpur Sawah A

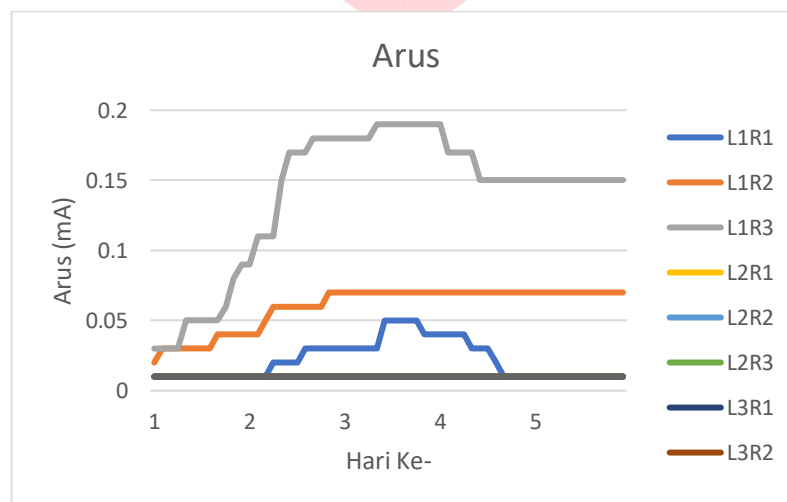


Gambar 4.4 Grafik pengukuran tegangan pada Lumpur Sawah B

Pada gambar 4.3 dan gambar 4.4 tersebut menunjukkan pengukuran tegangan yang dihasilkan oleh Lumpur Sawah A dan Lumpur Sawah B. Pengukuran dilakukan dengan adanya perbedaan lumpur yaitu masa setelah panen sekitar 100 hari dan sekitar 110 hari. Pengukuran tegangan tersebut dihasilkan dari perbedaan banyak elektroda dan jarak elektroda. Dari hasil pengukuran ini diketahui tegangan yang dihasilkan pada L1R3 (L = Jarak, R = Banyak Elektroda), menghasilkan tegangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang lainnya. Tegangan rata-rata tertinggi sebesar 196,9 mV pada lumpur sawah A dan 192,4 mV pada lumpur sawah B pada hari ke-3 pengukuran. Hal ini diindikasikan bahwa produksi bakteri tertinggi yang dapat memproduksi tegangan dan arus tinggi pada waktu hari ke-3. Perolehan data yang berbeda pada setiap banyak elektroda dan jarak diasumsikan karena adanya interaksi atau persaingan antar bakteri. Selanjutnya, untuk data hasil pengukuran arus dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.



Gambar 4.5 Grafik pengukuran arus pada Lumpur Sawah A



Gambar 4.6 Grafik pengukuran arus pada Lumpur Sawah B

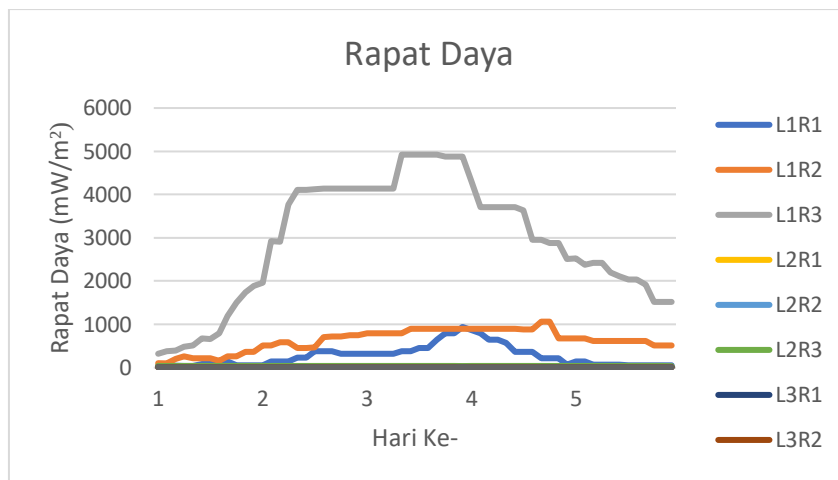
Pada gambar 4.5 dan gambar 4.6 tersebut menunjukkan pengukuran arus yang dihasilkan oleh Lumpur Sawah A dan Lumpur Sawah B. Pengukuran dilakukan dengan adanya perbedaan lumpur yaitu masa setelah panen sekitar 100 hari dan sekitar 110 hari. Pengukuran tegangan tersebut dihasilkan dari perbedaan banyak elektroda dan jarak elektroda. Dari hasil pengukuran ini diketahui tegangan yang dihasilkan pada L1R3 (L = Jarak, R = Banyak Elektroda), menghasilkan tegangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang lainnya. Arus rata-rata tertinggi sebesar 0,25 mA pada lumpur sawah A dan 0,19 mA pada lumpur sawah B pada hari ke-3 pengukuran. Hal ini diindikasikan bahwa produksi bakteri tertinggi yang dapat memproduksi tegangan dan arus tinggi pada waktu hari ke-3. Perolehan data yang berbeda pada setiap banyak elektroda dan jarak diasumsikan karena adanya interaksi atau persaingan antar bakteri.

Tegangan yang diperoleh dari sistem STM pada pengukuran hari pertama dan kedua tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Secara keseluruhan, tegangan dan arus yang dihasilkan mengalami peningkatan pada pengukuran hari ketiga. Hal ini dapat terjadi dikarenakan selang waktu kandungan senyawa organik secara terus-menerus melakukan oksidasi molekul biodegradable untuk menghasilkan elektron, proton, dan CO_2 . Proses metabolisme ini dimanfaatkan sebagai penghasil listrik. Namun, pada pengukuran hari keempat dan kelima mengalami penurunan dikarenakan kandungan senyawa organik berkurang akibat terus terdegradasi oleh mikroba tanpa adanya pergantian mikroba secara menyeluruh yang mengakibatkan lingkungan lain yang mempengaruhi. Produksi listrik akan mengalami penurunan apabila tidak ada senyawa organik yang tersisa untuk dioksidasi. Kuat arus maksimum yang mampu dihasilkan oleh sistem STM ini sebesar 0.25 mA dengan banyak elektroda 4 buah dan jarak 1 cm dari jembatan garam pada pengukuran hari ketiga. Hal ini terjadi karena pengaruh variasi jumlah elektroda yang mengatakan bahwa semakin banyak jumlah elektroda maka luas permukaan

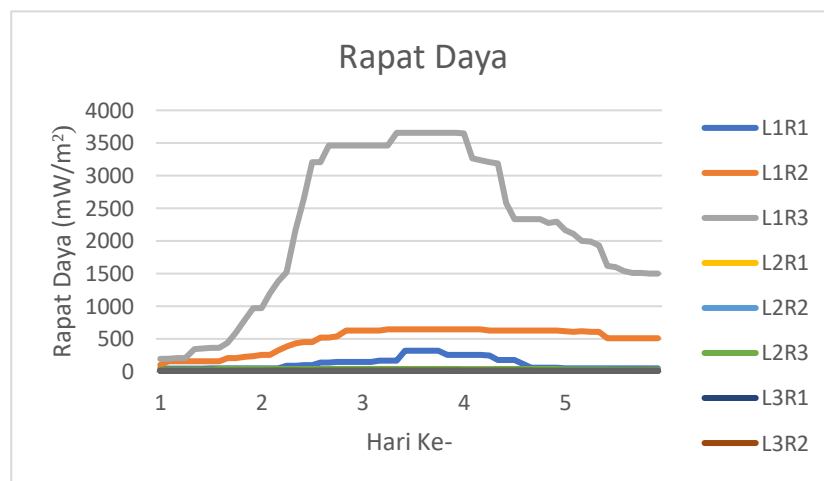
semakin besar dan bakteri akan semakin banyak menempel [29].

4.2. Hasil Pengukuran Rapat Daya

Selanjutnya, untuk mendapatkan nilai rapat daya dapat menggunakan Persamaan 3.4 pada data hasil pengukuran tegangan dan kuat arus. Besarnya rapat daya dari sistem STM tertera pada Gambar 4.7. dan 4.8.



Gambar 4.7 Grafik pengukuran rapat daya pada Lumpur Sawah A



Gambar 4.8 Grafik pengukuran rapat daya pada Lumpur Sawah B

Besarnya nilai rapat daya berbanding lurus dengan besarnya nilai tegangan dan kuat arus per-luas permukaan elektroda. Elektroda yang digunakan pada sistem ini berbentuk pelat dengan luas permukaan 10 cm^2 untuk setiap sisinya. Rapat daya menunjukkan kinerja anoda dalam mengalirkan elektron dari anoda ke katoda. Rapat daya maksimum yang dapat dihasilkan dari sistem ini sebesar 4922.5 mW/m^2 pada lumpur sawah A dan 3655.6 mW/m^2 pada lumpur sawah B pada hari ketiga dan menit ke-25 pada L1R3.

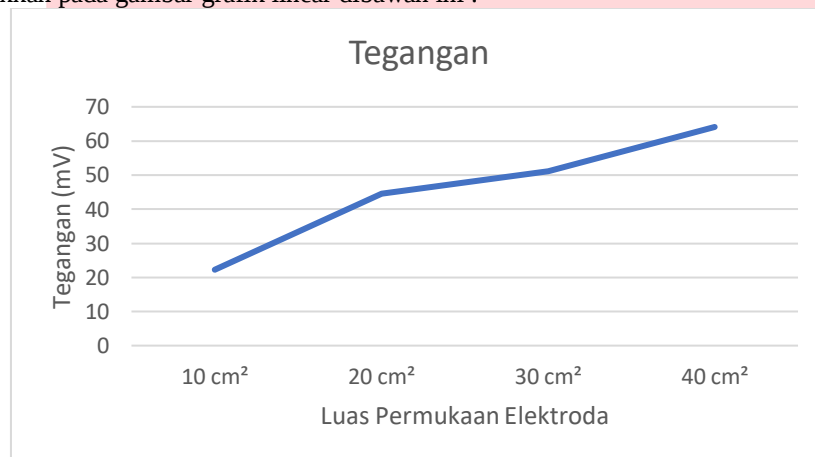
Jika dilihat dari rata-rata nilai tegangan dan arus yang dihasilkan dari penelitian ini, bahwa pada L1R3 (L = Jarak elektroda, R = Banyak elektroda) memiliki tegangan dan arus rata-rata yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan yang lain. Penambahan aquades tidak berpengaruh pada peningkatan tegangan maupun arus listrik yang dihasilkan atau bahkan lebih kecil produksinya jika dibandingkan dengan tidak ada penambahan aquades. Hal ini diakibatkan ketika ada penambahan aquades maka sumber bahan organik serta bakteri yang ada akan menjadi lebih sedikit [32]. Selain itu, menurut Lee *et al*, bahwa transfer elektron dari elektroda ke sel bakteri mengalami kenaikan ketika terdapat tambahan glukosa. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa efisiensi transfer elektron sebanding dengan jumlah sel bakteri yang melakukan kontak dengan permukaan elektroda [33]. Menurut Logan (2008), produksi energi listrik akan

mengalami penurunan Ketika tidak ada senyawa organik yang tersisa untuk dioksidasi [7].

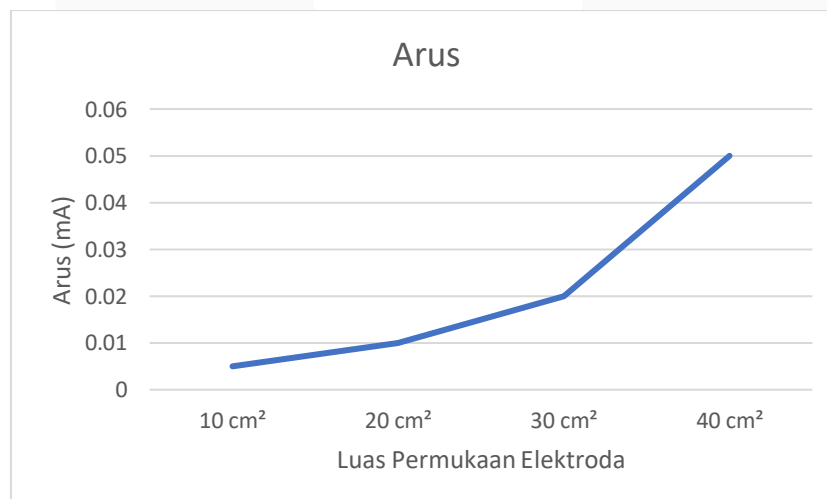
Pada penelitian ini juga membandingkan hasil penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yaitu penelitian saudara T. Nuzul Akbar. Hasil komparasi pada penelitian sebelumnya menghasilkan tegangan sebesar 444 mV, arus sebesar 0,14 mA, dan rapat daya sebesar 32, 62 mW/m². Sedangkan pada penelitian ini dengan mendistribusikan elektroda menghasilkan tegangan sebesar 196,9 mV, arus sebesar 0,25 mA, dan rapat daya sebesar 4922,5 mW/m². Oleh karena itu, pada penelitian ini menghasilkan tegangan, arus dan rapat daya yang lebih besar dibandingkan penelitian sebelumnya. Hal ini disebabkan oleh pendistribusian elektroda yang menyebabkan luas permukaan semakin besar dan energi listrik yang dihasilkan lebih besar karena pergantian mikroba yang tiada henti pada lingkungan terbuka.

4.3. Pengaruh Elektroda Terdistribusi Terhadap Arus dan Tegangan

Hasil pengukuran tegangan dan arus terhadap pengaruh elektroda terdistribusi diasumsikan dengan luas penampang dari beberapa elektroda. Besarnya luas penampang berbanding lurus dengan hasil pengukuran tegangan dan arus, semakin besar luas penampang yang terdistribusi maka hasil pengukuran akan semakin besar juga. Berikut ini hasil pengaruh elektroda terdistribusi terhadap arus dan tegangan yang ditunjukkan pada gambar grafik linear dibawah ini :



Gambar 4.9 Hasil pengukuran tegangan terhadap luas permukaan elektroda terdistribusi



Gambar 4.10 Hasil pengukuran arus terhadap luas permukaan elektroda terdistribusi

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Banyak elektroda yang terdistribusi dan jarak elektroda pada sistem STM berpengaruh terhadap produksi energi listrik yang dihasilkan bergerak linear berbanding lurus. Semakin besar luas permukaan elektroda maka semakin besar juga hasil tegangan dan arus yang dihasilkan

2. Tegangan rata-rata tertinggi sebesar 196,9 mV pada lumpur sawah A dan 192,4 mV pada lumpur sawah B pada hari ke 3 pengukuran pada L1R3. Arus rata-rata tertinggi sebesar 0,25 mA pada lumpur sawah A dan 0,19 mA pada lumpur sawah B pada hari ke 3 pengukuran. Hal itu disebabkan karena ada perbedaan lumpur dan masa panen lumpur tersebut.

5.2.Saran

Adapun saran untuk pengembangan penelitian STM berikut :

1. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai jumlah maupun koloni bakteri yang terkandung.
2. Pengukuran tegangan dan arus bisa menggunakan *datalogger* karena dilingkungan terbuka agar bisa maksimal dalam pengambilan data dan menggunakan *Multimeter Hanna Instruments* tipe H19811-5 untuk pengecekan kondisi pH, temperatur, EC, dan TDS.
3. Untuk mengembangkan produksi energi listrik yang dihasilkan, dibutuhkan sistem kontinu agar dapat digunakan dalam waktu yang cukup lama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. (2018). Outlook Energi Indonesia 2018. Jakarta: Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi BPPT.
- [2] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Statistik Ketenagalistrikan 2018. Jakarta. Edisi No. 31 Tahun Anggaran 2018.
- [3] Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2010-2025 dan Kebijakan Energi Nasional (KEN) dalam Peraturan Pemerintah No. 79 tahun 2014
- [4] Hasan, Achmad, "Aplikasi Sistem *Fuel Cell* Sebagai Energi Ramah Lingkungan di Sektor Transportasi dan Pembangkit" Peneliti di Pusat Teknologi Konservasi Energi. Vol. 8 No. 3, September 2013, hal. 277-286.
- [5] Korneel Rabaey Korneel, Guez Rodri Jorge, Linda L Blackall, Kellen Jurg, Gross Pamela, Batstone Damien, Verstraete Willy, and Nealson H Kenneth. (2007). Microbial ecology meets electrochemistry: electricity-driven and driving communities, Department of Earth Sciences, University of Southern California, Los Angeles, CA, USA.
- [6] Li, Jessica. *An Experimental study of Microbial Fuel Cell for Electricity Generating: Performance Characterization and Capacity Improvement*. Journal of Sustainable Bioenergy Systems, 3, 171-178, Agustus. 2013.
- [7] Logan, B. E. Microbial Fuel Cells. New Jersey: John & Wiley Inc. 2008
- [8] Logan, B. E. "Microbial Fuel Cells" Methodology and Technology. Environmental Science and Technology, 40. 2006.
- [9] 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.
- [10] Akbar Nuzul T. (2017). Analisis pengaruh material logam sebagai elektroda Microbial Fuel Cell terhadap produksi energi listrik. Fakultas Teknik Elektro Program Studi Teknik Fisika Telkom University, Bandung.
- [11] Chang, R. Kimia Dasar: Konsep-Konsep Inti (3rd ed.). Jakarta: Erlangga. 2005
- [12] Logan, B. E. Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology. Environmental Science and Technology, 40. 2006.
- [13] Chang, R. Chemistry (10th ed.). New York: The McGraw-Hill Companies, Inc. 2010
- [14] Purba, M. Kimia SMA/MA Kelas XII. Jakarta: Erlangga. 2007.
- [15] Singh, D. (2010). Microbial Fuel Cells: A Green Technology for Power Generation. *Scholars Research Library*, 3, 128-138.
- [16] Monier, J. M. (2008). Microbial Fuel Cell: From Biomass (waste) to Electricity. ResearchGate
- [17] Logan, B. E. (2008). Microbial Fuel Cells. New Jersey: John & Wiley Inc.