

ANALISIS PRODUKSI ENERGI LISTRIK SISTEM *SEDIMENT MICROBIAL FUEL CELL* MENGGUNAKAN LIMBAH TETES TEBU

(ELECTRICAL ENERGY PRODUCTION ANALYSIS OF *SEDIMENT MICROBIAL FUEL CELL* USING SUGARCANE MOLASSES)

Ambar Wulan¹, M. Ramdhan Kirom, S.Si., M. Si², Dra. Endang Rosdiana, M. Si³

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

¹ambarwln@student.telkomuniversity.ac.id, ²mramdhankirom@telkomuniversity.ac.id,

³endangr@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Kebutuhan energi listrik di Indonesia yang masih bergantung pada energi tak terbarukan telah memicu dilakukannya berbagai riset ke arah teknologi yang lebih efektif, efisien, dan ramah lingkungan dalam memproduksi energi listrik. Salah satu alternatif teknologi tersebut adalah *Sediment Microbial Fuel Cell* (SMFC) yang berbasis prinsip bioelektrokimia dengan memanfaatkan mikroorganisme untuk memecah substrat sehingga menghasilkan energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi energi listrik yang dihasilkan dari variasi volume substrat lumpur sawah dengan limbah berupa tetes tebu (molase) pada reaktor jenis *single chamber* dengan metode SMFC dengan volume total 800 ml untuk masing-masing variasi. Reaktor berbentuk silinder dengan ukuran tinggi 17 cm dan diameter 8 cm. Elektroda yang digunakan pada sistem berupa pelat berbahan Seng (Zn) sebagai anoda dan Tembaga (Cu) sebagai katoda dengan ukuran 5 cm x 5 cm. Pengukuran data dilakukan setiap 2 jam selama 14 hari, pengambilan data tegangan dan arus menggunakan multimeter. Hasil penelitian pada empat variasi pengukuran data pertama variasi (lumpur sawah:tetes tebu) dimana reaktor 1 (200 ml:600 ml), reaktor 2 (400 ml:400 ml), reaktor 3 (600 ml:200 ml), dan reaktor 4 (800 ml:0 ml) menunjukkan perolehan kerapatan daya pada variasi 600 ml lumpur sawah dan 200 tetes tebu menghasilkan nilai kerapatan daya yang paling optimum yaitu 232.97 mW/m² pada hari ke-13 dibandingkan dengan tiga variasi lain yang nilainya tidak jauh berbeda satu sama lain. Kemudian pada pengukuran data kedua dihasilkan nilai kerapatan daya tertinggi yang dapat dihasilkan dari masing-masing reaktor yaitu pada variasi (500 ml:300 ml) sebesar 199.36 mW/m², variasi (550 ml:250 ml) 283.02 mW/m², variasi (600 ml:200 ml) 402.84 mW/m², dan variasi (650 ml:150 ml) yaitu 698.97 mW/m². Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa variasi yang paling optimum dalam menghasilkan produksi energi listrik pada penelitian ini yaitu pada reaktor 8 dengan perbandingan volume lumpur sawah 650 ml dan tetes tebu 150 ml.

Kata kunci: *Sediment Microbial Fuel Cell*, *single chamber*, limbah tetes tebu, lumpur sawah.

Abstract

The need for electrical energy in Indonesia, which is still dependent on non-renewable energy, has triggered various researches towards technology that is more effective, efficient and environmentally friendly in producing electrical energy. One of the alternative technologies is the *Sediment Microbial Fuel Cell* (SMFC) which is based on bioelectrochemical principles by utilizing microorganisms to break down the substrate to produce electrical energy. This study aims to determine the potential of electrical energy generated from variations in the volume of rice sludge substrate with molasses in the form of molasses in a reactor *single chamber* using the SMFC method with a total volume of 800 ml for each variation. The reactor is cylindrical with a height of 17 cm and a diameter of 8 cm. The electrodes used in the system are plates made from zinc (Zn) as anode and copper (Cu) as a cathode with a size of 5 cm x 5 cm. Data measurements were carried out every 2 hours for 14 days, data collection of voltage and current using a multimeter. The results of the research on the four variations of the first data measurement variations (rice field mud: molasses) where reactor 1 (200 ml: 600 ml), reactor 2 (400 ml:400 ml), reactor 3 (600 ml:200 ml), and reactor 4 (800 ml:0 ml) shows that the gain of power density in the variation of 600 ml of paddy mud and 200 ml of sugarcane produces the most optimum power density value, namely 232.97 mW/m² on the 13th day compared to three other variations whose

values are not much different from one another. each other. Then in the second data measurement, the highest power density value that can be generated from each reactor is obtained, namely the variation (500 ml:300 ml) of 199.36 mW/m², variation (550 ml:250 ml) 283.02 mW/m², variation (600 ml:200 ml) 402.84 mW/m², and the variation (650 ml:150 ml) is 698.97 mW/m². Based on the results of the study, it can be concluded that the most optimum variation in producing electrical energy production in this study is reactor 8 with a volume ratio of 650 ml of rice field mud and 150 ml of molasses.

Keywords: Sediment Microbial Fuel Cell, single chamber, sugarcane molasses, mud of rice field.

1. Pendahuluan

Tingkat konsumsi listrik di Indonesia terus-menerus menunjukkan peningkatan setiap tahunnya, hal ini diketahui dari data Kementerian ESDM yang mencatat bahwa konsumsi energi Indonesia pada 2017 mencapai 1.23 miliar *Barrels Oil Equivalent* (BOE) naik 9% dari tahun sebelumnya, dimana konsumsi biofuel baru mencapai 79.43 BOE atau 6.44% dari total [1]. Dari data tersebut menunjukkan bahwa sumber energi terbarukan masih sangat sedikit pemanfaatannya di Indonesia, oleh sebab itulah perlu dilakukan sebuah upaya untuk menghasilkan sumber energi alternatif terbarukan yang berkelanjutan. Salah satu dari jenis energi terbarukan tersebut adalah *Microbial Fuel Cell* (MFC) yang merupakan salah satu alternatif teknologi yang prospektif untuk dikembangkan. MFC adalah alat yang menggunakan bakteri dalam menghasilkan tenaga listrik dari senyawa organik [2]. Dalam MFC ini terdapat bahan utama yaitu substrat yang terdiri dari bakteri dan sumber makanan, bakteri yang digunakan bisa berupa bakteri dari alam. Lumpur sawah adalah salah satu media yang dapat dimanfaatkan sebagai substrat di anoda dalam MFC karena mengandung senyawa organik dan sumber bakteri. Kandungan senyawa karbon organik pada lumpur sawah atau sedimen memiliki sumber tenaga listrik dikarenakan adanya *exoelectrogens* atau bakteri elektrokimia aktif dan secara langsung mengangkat elektron luar sel [3]. Salah satu material organik yang dapat digunakan dalam sistem MFC adalah limbah tetes tebu, seperti pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Muhammad Farhan Nur Islam pada tahun 2018, yang berjudul analisis produksi energi listrik sistem *Microbial Fuel Cell* (MFC) menggunakan lumpur sawah dan limbah tebu. Dalam penelitiannya menggunakan salah satu limbah tebu yaitu limbah tetes tebus (*molasses*) sebagai material organik dalam sistem MFC, dan menghasilkan *power density* sebesar 57.41 mW/m² [4]. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Sedky H.A Hassan dan kawan-kawan pada April 2019, yang berjudul *Electricity Generation from Sugarcane Molasses using Microbial Fuel Cell Technologies*. Dalam penelitiannya menggunakan limbah tebu yaitu tetes tebu (*molasses*) sebagai material organik, dari penelitiannya menghasilkan *power density* sebesar 188.5 mW/m² [5]. Tetes tebu dapat digunakan sebagai sumber makanan bakteri di MFC, karena masih mengandung nutrisi seperti karbohidrat, gula (glukosa), dan lemak [6].

Pada penelitian ini dilakukan optimasi kinerja *Sediment Microbial Fuel Cell* (SMFC) dengan menggunakan reaktor jenis *single chamber*. Reaktor jenis *single chamber* dipilih karena memiliki desain yang lebih sederhana dibandingkan dengan desain MFC *dual chamber*, dapat menghemat biaya dan daya yang dihasilkan lebih efisien [7]. Sistem satu ruang dimana elektron diproduksi oleh bakteri dari substrat yang ditransfer ke anoda kemudian mengalir ke katoda yang dihubungkan dengan bahan konduksi. Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis pengaruh variasi penggunaan lumpur sawah dan limbah tetes tebu sebagai substrat terhadap energi listrik yang dihasilkan. Diharapkan dengan menggunakan reaktor *single chamber* dengan sistem *Sediment Microbial Fuel Cell* (SMFC) dapat menjadi salah satu sumber alternatif energi listrik.

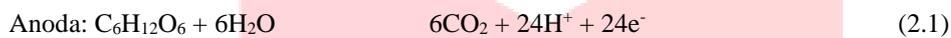
2. Metodologi Penelitian

2.1 *Sediment Microbial Fuel Cell* (SMFC)

Sediment Microbial Fuel Cell (SMFC) merupakan pengembangan dari teknologi MFC yang menggunakan sedimen sebagai substratnya. Sedimen adalah material organik yang terbentuk dari proses pengendapan dari material pembentuk pada suatu tempat hasil pengendapan yang disebut lingkungan pengendapan seperti muara, sungai, danau, delta, estuaria, laut dangkal sampai laut dalam [20]. Kelebihan sistem SMFC yaitu energi yang dihasilkan oleh mikroba dari sistem lingkungan dapat dihasilkan tanpa pengelolaan di lapangan. SMFC menghasilkan energi

berdasarkan beda potensial listrik antara air pada kondisi aerob dan sedimen pada kondisi anaerob [21].

Prinsip kerja dari *Sediment Microbial Fuel Cell* saat bakteri mengkonsumsi substrat organik berupa glukosa dalam kondisi anaerobik maka akan menghasilkan CO_2 , elektron, dan proton, kemudian elektron ditransfer melalui kawat penghantar bersifat konduksi. Beda potensial antara anoda dan katoda bersama dengan aliran elektron mampu menghasilkan energi listrik yang nantinya dapat diukur. Elektron yang terdapat pada sedimen di anoda kemudian dialirkan menuju ke katoda melalui rangkaian eksternal dan akan mengurangi oksigen yang terdapat di dalam air. Reaksi yang terjadi di katoda akan menghasilkan air. Sirkuit eksternal tersambung dengan multimeter untuk pengukuran data berupa tegangan dan arus sebagai korelasi terhadap adanya produksi energi listrik. Selanjutnya hasil data penelitian diolah menggunakan komputer. Peningkatan atau penurunan listrik yang dihasilkan berhubungan dengan jumlah elektron bebas yang dihasilkan oleh bakteri. Reaksi bioelektrokimia yang terjadi antara substrat organik yaitu glukosa dan penerima elektron yaitu oksigen akan menyebabkan glukosa kemudian terdegradasi seperti pada reaksi berikut:



Sistem SMFC memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan sumber energi lainnya seperti dapat bekerja di bawah berbagai suhu operasi termasuk dalam suhu rendah, biaya murah, konstruksi sederhana, mudah ditempatkan di lokasi terpencil.

2.2 Desain Reaktor SMFC

Desain reaktor SMFC yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 pada penelitian ini mengadopsi bentuk reaktor *single chamber* sistem SMFC yang terbuat dari bahan kaca dengan sistem terbuka. Pada gambar 2.1 merupakan tampak depan reaktor menunjukkan bahwa reaktor terdiri dari satu bejana dengan diameter 8 cm dan tinggi 17 cm berbentuk silinder dengan kapasitas volume 1000 ml, didalamnya akan diisi substrat lumpur sawah dan limbah tetes tebu. Terdapat rangkaian eksternal penghubung antara anoda dan katoda yang nantinya akan menghasilkan beda potensial, pelat anoda dicelupkan di endapan lumpur sawah dan limbah tetes tebu, sedangkan pelat katoda dicelupkan di air.



Gambar 2.1 Reaktor *single chamber* sistem SMFC.

2.3 Lumpur Sawah

Pada sistem *Sediment Microbial Fuel Cell* dibutuhkan sumber mikroorganisme sebagai katalis bahan organik kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana dalam pembentukan aliran listrik. Salah satu sedimen yang dapat digunakan sebagai substrat pada sistem SMFC adalah lumpur sawah. Sampel tanah yang diambil dari sawah terbukti mengandung bakteri *exoelectrogen* [15]. *Exoelectrogen* merupakan mikroorganisme yang mampu menghasilkan dan mentransfer

elektron secara ekstraseluler. Mikroorganisme adalah organisme yang berukuran sangat kecil sekitar 0.1-19 μm ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$) yang mampu berperan di berbagai proses alami dan bioteknologi, termasuk SMFC. Umumnya pertumbuhannya sangat cepat sehingga dapat menghasilkan komunitas mikroorganisme dalam jumlah yang besar [16]. Namun variasi pertumbuhan mikroorganisme berbeda-beda, karena sangat dipengaruhi oleh sifat genetik, kadar nutrisi, suhu, kondisi pH serta aerasi. Sejumlah bakteri *exoelectrogen* diketahui membentuk struktur khusus yang disebut *nanowire*, yang berfungsi sebagai penghantar elektron.

2.4 Limbah Tetes Tebu (Molase)

Tebu merupakan tanaman yang digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan gula. Pada proses produksi di pabrik gula, selain menghasilkan produk utama yaitu gula, juga dihasilkan limbah buangan atau hasil samping. Salah satu hasil sampingan yang diperoleh dari produksi gula adalah tetes tebu (*molasses*). Molase diperoleh dari hasil pemisahan sirup *low grade* terhadap gula melalui kristalisasi berulang kali, sehingga tidak mungkin menghasilkan gula. Tetes tebu telah dimanfaatkan untuk produksi *biofuel* yaitu bioetanol dan biogas [17]. Indonesia merupakan salah satu negara yang berpengalaman dalam produksi bioetanol dari tetes tebu [18].

2.5 Elektroda

Elektroda yang digunakan pada penelitian ini adalah pelat seng (Zn) dan pelat tembaga (Cu). Berdasarkan hasil penelitian (Paramitha, 2017) menunjukkan bahwa sistem MFC dengan kombinasi elektroda (anoda/katoda) Zn/Cu menghasilkan produksi listrik terbesar [23]. Pemilihan elektroda menggunakan pelat seng dan tembaga ini juga didasarkan pada harganya yang relatif murah. Pelat yang digunakan berbentuk bujur sangkar dengan ukuran 5 cm x 5 cm dengan tebal yang sama yaitu 0.2 mm.

Proses preparasi elektroda dimulai dengan perendaman elektroda di dalam larutan HCL 1M, selanjutnya direndam dalam larutan NaOH 1M. Setelah itu elektroda direndam dalam larutan akuades hingga saat akan digunakan. Preparasi ini bertujuan untuk menghilangkan lapisan oksida yang menghambat proses reaksi elektroda terhadap sistem.

2.6 Eksperimen Sistem SMFC

Eksperimen SMFC ini dilakukan dengan cara memvariasikan konsentrasi substrat, terdiri dari empat variasi berbeda pada pengambilan data pertama dimana substrat yang dicampurkan meliputi lumpur sawah dan limbah tetes tebu, serta lumpur sawah saja. Variasi yang hanya terdiri dari tetes tebu saja tidak dilakukan karena pada penelitian ini menggunakan metode SMFC dengan memanfaatkan metabolisme mikroorganisme pada lumpur sawah dan selanjutnya menghasilkan produksi listrik. variasi volume substrat pada penelitian ini sebagai berikut:

Tabel 2.1 Variasi substrat pengukuran data pertama sistem SMFC.

Reaktor	Lumpur Sawah (ml)	Limbah Tetes Tebu (ml)
1	200	600
2	400	400
3	600	200
4	800	0

Kemudian dilakukan pengambilan data kedua, dengan perbandingan variasi volume lumpur sawah dan limbah tetes tebu disekitar variasi volume reaktor ketiga untuk mengetahui lebih jauh karakteristik dan hal yang mempengaruhi kinerja dari sistem SMFC, variasi volume substrat dilakukan disekitar reaktor 3 karena pada reaktor tersebut dihasilkan nilai *power density* optimum dibandingkan dengan tiga variasi lain. Nilai variasi pada pengukuran data kedua dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.2 Variasi substrat pengukuran data kedua sistem SMFC.

Reaktor	Lumpur Sawah (ml)	Limbah Tetes Tebu (ml)
5	500	300
6	550	250
7	600	200
8	650	150

2.7 Pengukuran Kuat Arus dan Tegangan Sistem SMFC

Pengukuran tegangan dan kuat arus listrik yang dihasilkan sistem SMFC diukur dengan menggunakan multimeter. Elektroda yang sudah terpasang pada bejana dihubungkan dengan menggunakan capit buaya dan kabel. Pengambilan data tegangan dan arus listrik dilakukan setiap 2 jam selama 14 hari. Hasil data yang diperoleh yaitu berupa nilai tegangan (V) dan arus listrik (I) nantinya diolah menggunakan komputer untuk mendapatkan nilai daya, dan kerapatan daya yang dihasilkan. Besarnya nilai-nilai tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P = V \times I$$

$$P_d = \frac{P}{A}$$

Keterangan:

P: Daya listrik (Watt)

A: Luas permukaan elektroda (m²)

V: Tegangan (Volt)

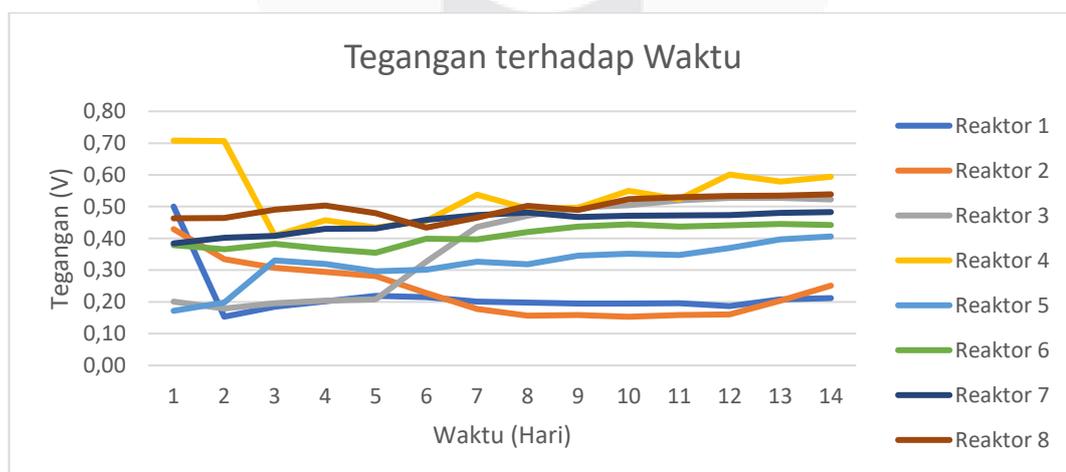
P_d: Power Density (mW/m²)

I: Arus (Ampere)

3. Pembahasan

3.1 Hasil Pengukuran Tegangan

Pengukuran tegangan menggunakan multimeter dimana anoda dihubungkan dengan kutub negatif sedangkan katoda dihubungkan dengan kutub positif. Pengukuran tegangan dalam penelitian ini tidak menggunakan beban atau hambatan listrik eksternal seperti resistor atau lampu, sehingga dapat disebut sebagai *Open Circuit Voltage* (Tegangan Sirkuit Terbuka). Pengukuran tegangan dan arus memiliki perbedaan rentang waktu 30 menit karena pada pengukuran arus digunakan beban tambahan berupa resistor 10 Ω, dengan adanya penggunaan resistor maka agar arus bernilai stabil pengukuran tegangan dan arus tidak dilakukan secara bersamaan.



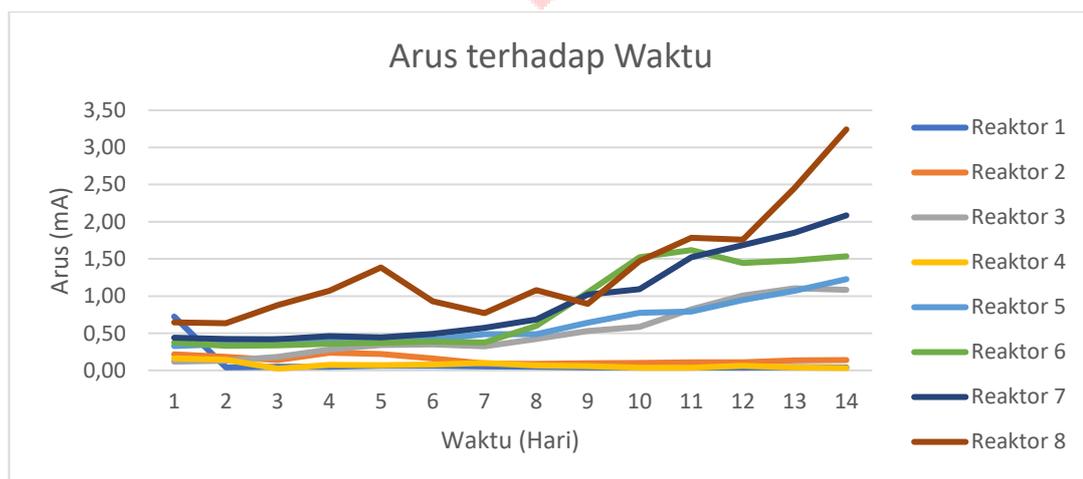
Gambar 3.1 Grafik hasil pengukuran tegangan pada sistem SMFC.

Gambar 3.1 menunjukkan grafik hasil pengukuran tegangan dari delapan reaktor dengan variasi perbandingan volume berbeda yang diambil setiap 2 jam dan dilakukan selama 14 hari.

Berdasarkan hasil penelitian, rata-rata tegangan yang dihasilkan dari delapan variasi pada pengambilan data pertama yaitu untuk reaktor 1 sebesar 0.22 volt, reaktor 2 sebesar 0.24 volt, reaktor 3 sebesar 0.38 volt, reaktor 4 sebesar 0.54 volt, reaktor 5 sebesar 0.32 volt, reaktor 6 sebesar 0.41 volt, reaktor 7 sebesar 0.45 volt, dan reaktor 8 sebesar 0.50 volt. Rata-rata tegangan tertinggi dihasilkan oleh reaktor 4 (lumpur sawah 800 ml) yaitu 0.54 volt dengan nilai tegangan tertinggi mencapai 0.71 volt. Reaktor 4 menghasilkan rata-rata tegangan tertinggi karena peningkatan atau penurunan beda potensial listrik berkorelasi dengan jumlah elektron bebas yang dihasilkan oleh mikroba, dengan tidak adanya bahan organik berupa tetes tebu maka mikroba lebih mudah beradaptasi dan melakukan pemecahan substrat yang terkandung pada lumpur sawah sehingga sistem lebih stabil. Pada reaktor 1 nilai rata-rata tegangan yang diperoleh cukup rendah, hal ini dikarenakan volume lumpur sawah yang lebih sedikit dibanding dengan volume limbah tetes tebu (200 ml:600 ml) berpengaruh terhadap jumlah mikroorganisme di lumpur sawah pada sistem lebih sedikit dalam melakukan degradasi bahan organik pada reaktor tersebut. Efisiensi transfer elektron dari bakteri ke elektroda sebanding dengan jumlah bakteri yang melakukan kontak dengan elektroda. Bakteri pada substrat akan mengoksidasi senyawa organik dan menghasilkan elektron yang nantinya akan ditransfer pada elektroda [24].

3.2 Hasil Pengukuran Arus

Pengukuran arus dilakukan menggunakan multimeter dihubungkan secara seri terhadap anoda dan katoda dengan tambahan beban luar berupa resistor 10 Ω . Arus yang dihasilkan pada sistem SMFC bergantung pada muatan elektron yang diterima anoda yang kemudian akan ditransfer ke katoda melalui rangkaian listrik.

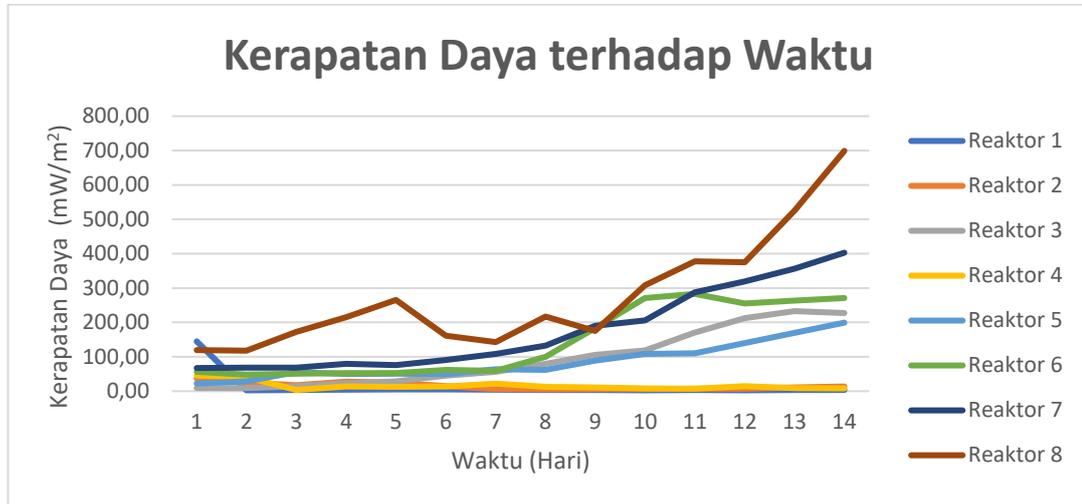


Gambar 3.2 Grafik hasil pengukuran arus pada sistem SMFC.

Berdasarkan hasil data yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 nilai rata-rata produksi arus yang dihasilkan selama 14 hari pada reaktor 1 yaitu sebesar 0.09 mA, reaktor 2 sebesar 0.14 mA, reaktor 3 sebesar 0.52 mA, reaktor 4 sebesar 0.07 mA, reaktor 5 sebesar 0.63 mA, reaktor 6 sebesar 0.84 mA, reaktor 7 sebesar 0.94 mA, dan reaktor 8 sebesar 1.36 mA. Reaktor 8 (lumpur sawah 650 ml dan tetes tebu 150ml) menghasilkan rata-rata produksi arus optimum dengan nilai arus tertinggi yaitu mencapai 3.24 mA. Hal ini dikarenakan adanya reaksi bioelektrokimia yang terjadi antara substrat organik yaitu tetes tebu dan mikroba menyebabkan tetes tebu kemudian terdegradasi menjadi glukosa, sehingga terjadi penambahan transfer elektron yang berasal dari metabolisme bahan organik ke anoda. Selain itu, faktor penguraian substrat dan ekosistem mikroba anodik juga mempengaruhi laju transfer elektron mikroba, dan keluaran arus akhir sistem MFC [25], dimana bakteri *exoelectrogen* yang terdapat pada lumpur sawah diketahui membentuk struktur khusus yang disebut *nanowire*, yang berfungsi sebagai penghantar elektron. Sementara nilai arus terendah dihasilkan pada reaktor 4, disebabkan karena variasi hanya terdiri dari lumpur sawah sehingga pada reaktor tersebut tidak memiliki substrat organik untuk di degradasi sebagai bahan bakar pada sistem SMFC.

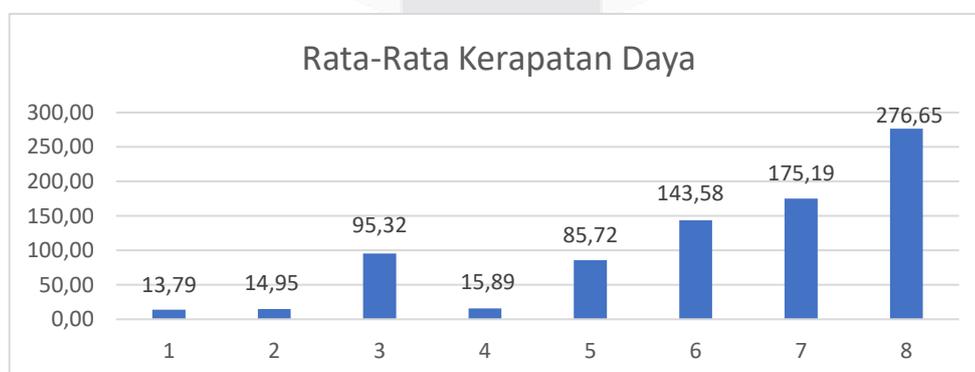
3.3 Hasil Perhitungan *Power Density*

Data hasil pengukuran tegangan dan arus selanjutnya diolah untuk mendapatkan nilai *power density* yang mewakili produksi listrik yang dihasilkan oleh sistem SMFC. Luas elektroda pada penelitian ini yaitu 25 cm². Besarnya *power density* dari delapan reaktor terdapat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Grafik hasil perhitungan *power density*.

Dari Gambar 3.3 terlihat bahwa grafik pada pengambilan data pertama yaitu pada reaktor 1, 2, dan 4 menghasilkan nilai *power density* yang cukup rendah dibandingkan reaktor 3. Dengan hasil penelitian tersebut, maka dilakukan pengambilan data kedua disekitar volume variasi substrat pada reaktor 3. Pada grafik terlihat di reaktor 5 sampai dengan reaktor 8 menghasilkan grafik kerapatan daya yang fluktuatif namun cenderung meningkat seiring dengan lamanya waktu percobaan, umumnya kenaikan terjadi di minggu kedua penelitian, hal ini terjadi karena mikroba telah membentuk biofilm pada anoda di minggu pertama sehingga sistem dapat menghasilkan rapat daya yang optimum. Pada reaktor 3 dan reaktor 7 dengan variasi volume yang sama menghasilkan nilai kerapatan daya yang berbeda namun pola dari grafik pada kedua reaktor ini cenderung sama, faktor yang menyebabkan terjadinya perbedaan nilai kerapatan daya yang dihasilkan ialah perbedaan kondisi pada sampel substrat yang digunakan pada pengambilan data pertama dan kedua baik berupa lumpur sawah sebagai sumber mikroorganisme dan tetes tebu dengan kandungan glukosa yang dimilikinya, sehingga unsur dari masing-masing substrat tersebut pun dapat mempengaruhi *power density* yang dihasilkan dari sistem tersebut.



Gambar 3.4 Perbandingan rata-rata *power density* pada setiap reaktor.

Pada gambar 3.4 menunjukkan nilai kerapatan daya rata-rata dari setiap reaktor. Nilai kerapatan daya tertinggi dihasilkan oleh reaktor 8 (lumpur sawah 650 ml dan tetes tebu 150 ml) yaitu mencapai 698.97 mW/m^2 , dengan rata-rata 276.65 mW/m^2 selama 14 hari pengukuran data. Sedangkan nilai rata-rata kerapatan daya terendah dihasilkan oleh reaktor 1 yaitu 13.79 mW/m^2 (lumpur sawah 200 ml dan tetes tebu 600 ml). Salah satu kandungan dari limbah tetes tebu yaitu glukosa merupakan substrat yang biasa digunakan dalam eksperimen MFC karena mudah dioksidasi oleh mikroorganisme sehingga produksi listrik dari sistem MFC dapat meningkat [26], namun berdasarkan hasil dari penelitian ini menunjukkan banyaknya jumlah volume limbah tetes tebu sebagai sumber nutrisi dibandingkan dengan jumlah volume lumpur sawah sebagai sumber mikroorganisme pada reaktor tidak menentukan terjadinya peningkatan produksi *power density* dari sistem SMFC. Hal ini dikarenakan besar kecilnya produksi listrik dipengaruhi oleh mikroba yang hidup dan memanfaatkan nutrisi yang terkandung di limbah tetes tebu tersebut. Makin aktif suatu mikroba dalam melakukan metabolisme, makin banyak pula elektron bebas yang dihasilkan. Mengetahui volume yang tepat dalam penggunaan tetes tebu sebagai sumber nutrisi bagi mikroba di lumpur sawah adalah hal yang penting untuk dilakukan, karena setiap mikroba memiliki karakteristik dan kebutuhan nutrisi yang berbeda.

Selain itu terdapat berbagai parameter yang dapat mempengaruhi kinerja dari sistem SMFC itu sendiri, Parameter tersebut meliputi bahan elektroda, jarak antara elektroda dan pH, suhu, *dissolved oxygen* (DO) di dekat katoda, bahan organik dalam sedimen [27]. Dari hasil pengambilan data terhadap delapan variasi perbandingan volume substrat yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa reaktor 8 dengan variasi lumpur sawah 650 ml dan tetes tebu 150 ml merupakan variasi perbandingan volume yang menghasilkan kerapatan daya paling optimum yaitu sebesar 698.97 mW/m^2 dengan rata-rata sebesar 276.65 mW/m^2 selama 14 hari pengukuran, dibandingkan dengan variasi perbandingan volume lain pada penelitian sistem SMFC ini.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah diuraikan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penelitian sistem *Sediment Microbial Fuel Cell* (SMFC) dengan variasi volume substrat lumpur sawah 650 ml dan 150 ml tetes tebu merupakan variasi yang menghasilkan produksi listrik paling optimum dibandingkan variasi volume pada reaktor lain.
2. Hasil pengukuran produksi kerapatan daya tertinggi pada variasi lumpur sawah 650 ml dan 150 ml tetes tebu diperoleh pada hari ke-14 yaitu sebesar 698.97 mW/m^2 dengan nilai tegangan sebesar 0.54 volt dan arus sebesar 3.24 mA.

Daftar Pustaka:

- [1] Kementerian ESDM, "Berapa Konsumsi Energi Nasional?," *Katadata*, 2018. [Online]. Available: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2018/10/10/berapa-konsumsi-energi-nasional>. [Accessed: 01-Sep-2019].
- [2] F. M. T. Student, "Electricity Generation from Biowaste Based Microbial Fuel Cells," vol. 1, no. 1, pp. 77–92, 2010.
- [3] M. Rahimnejad and A. Adhami, "Microbial fuel cell as new technology for bioelectricity generation : A review," *Alexandria Eng. J.*, no. April, 2015.
- [4] M. Farhan, N. Islam, M. R. Kirom, and A. Qurthobi, "Analisis Produksi Energi Listrik Sistem Sel Tunam Mikroba (Stm) Menggunakan Lumpur Sawah Dan Limbah Tebu Electrical Energy Production Analysis Of Microbial Fuel Cell (Mfc) Using Mud Farmland And Sugarcane Waste," vol. 5, no. 3, pp. 5618–5624, 2018.
- [5] S. H. A. Hassan, A. el Nasser A. Zohri, and R. M. F. Kassim, "Electricity generation from sugarcane molasses using microbial fuel cell technologies," *Energy*, no. April, pp. 538–543, 2019.
- [6] I. N. S. Winaya, M. Sucipta, and A. A. K. W. Putra, "Memanfaatkan Air Bilasan Bagas Untuk Menghasilkan Listrik Dengan Teknologi Microbial Fuel Cells," vol. 5, no. 1, 2011.
- [7] A. Kothapalli, "Sediment Microbial Fuel Cell as Sustainable Power Resource," no. December, 2013.
- [8] S. Latifah, "Alternatif baru sumber pembangkit listrik dengan menggunakan sedimen laut

- tropika melalui teknologi microbial fuel cell,” 2009.
- [9] A. E. Segneanu *et al.*, “We are IntechOpen , the first native scientific publisher of Open Access books TOP 1 % Waste Water Treatment Methods,” *Web Sci.*, p. 29, 2013.
- [10] S. Shaikh and N. P. Patil, “Microbial Fuel Cell : Design and Operation Research and Reviews : Journal of Microbiology and Microbial Fuel Cell : Design and Operation,” no. September, pp. 0–8, 2016.
- [11] S. Karmakar, K. Kundu, and S. Kundu, “Development and Designing of Microbial Fuel cells,” 2011, pp. 1029–1034.
- [12] A. Parkash, “Microbial Fuel Cells: A Source of Bioenergy,” *J. Microb. Biochem. Technol.*, vol. 8, no. 3, pp. 247–255, 2016.
- [13] F. Gephart, “Author ’ s personal copy Author ’ s personal copy Global Seafood Trade,” vol. 1, pp. 93–97, 2019.
- [14] M. R. Harahap, “Sel Elektrokimia: Karakteristik dan Aplikasi,” *CIRCUIT J. Ilm. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, 2016.
- [15] F. Fakhiruddin, A. Amid, W. W. A. Wan Salim, and A. S. Azmi, “Electricity Generation in Microbial Fuel Cell (MFC) by Bacterium Isolated from Rice Paddy Field Soil,” *E3S Web Conf.*, vol. 34, pp. 1–9, 2018.
- [16] P. Air, L. Dan, P. Listrik, and C. Mfcs, “(Mfcs) Simultaneous Wastewater Treatment And Electricity Production Using Microbial Fuel,” no. November 2016, pp. 113–124.
- [17] Y. Liu *et al.*, “Sequential bioethanol and biogas production from sugarcane bagasse based on high solids fed-batch SSF,” *Energy*, vol. 90, pp. 1199–1205, 2015.
- [18] D. Khatiwada, B. K. Venkata, S. Silveira, and F. X. Johnson, “Energy and GHG balances of ethanol production from cane molasses in Indonesia,” *Appl. Energy*, vol. 164, pp. 756–768, 2016.
- [19] F. D. Central, “Molasses,” 2019. [Online]. Available: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/168820/nutrients>. [Accessed: 07-Oct-2019].
- [20] F. J. Pettijohn, *Sedimentary Rocks*, 2nd ed. 1949.
- [21] T. K. Sajana, M. M. Ghangrekar, and A. Mitra, “Effect of pH and distance between electrodes on the performance of a sediment microbial fuel cell,” *Water Sci. Technol.*, vol. 68, no. 3, pp. 537–543, 2013.
- [22] F. Ma, Y. Yin, and M. Li, “Start-Up Process Modelling of Sediment Microbial Fuel Cells Based on Data Driven,” *Math. Probl. Eng.*, vol. 2019, 2019.
- [23] P. Octavia *et al.*, “Pengaruh Elektroda Pada Kinerja Microbial Fuel Cell Dengan Menggunakan Lumpur Bakau Sebagai Substrat The Impact Of Electrodes On Microbial Fuel Cell Performance On The Resulted Electric Power Density Using Mangrove Mud As Substrate,” vol. 5, no. 2, pp. 2350–2357, 2018.
- [24] A. C. Siswanti and I. G. M. Sanjaya, “Effect Of Variation Of Optical Density Bacillus subtilis TO MICROBIAL FUEL,” *UNESA J. Chem.*, vol. 5, no. 3, pp. 123–127, 2016.
- [25] S. B. Velasquez-Orta, I. M. Head, T. P. Curtis, and K. Scott, “Factors affecting current production in microbial fuel cells using different industrial wastewaters,” *Bioresour. Technol.*, vol. 102, no. 8, pp. 5105–5112, 2011.
- [26] K. P. Nevin *et al.*, “Anode biofilm transcriptomics reveals outer surface components essential for high density current production in Geobacter sulfurreducens fuel cells,” *PLoS One*, vol. 4, no. 5, 2009.
- [27] J. B. Davis, *Microbial fuel cell*. 1967.