

ANALISIS PRODUKSI ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN SUBSTRAT KOLAM IKAN DAN LIMBAH NASI DENGAN METODE SEDIMEN *MICROBIAL FUEL CELL*

ANALYSIS ELECTRICAL ENERGY PRODUCTION USING FISH POOL AND RICE WASTE SUBSTRATE BY USING SEDIMENT *MICROBIAL FUEL CELL METHOD*

Nafira Fadhila¹, M. Ramdhan Kirom², Nurwulan Fitriyanti³

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

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

³nurwulanf@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Kebutuhan energi di Indonesia akan terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan penduduk, perekonomian dan perkembangan teknologi. Energi biomassa memiliki ketersediaan yang sangat berlimpah untuk dimanfaatkan kedepannya. Energi ini berasal dari organisme yang didapatkan dari lingkungan alam sekitar dari bahan-bahan organik yang ramah lingkungan. *Microbial Fuel Cell* (MFC) atau disebut Sel Tunam Mikroba merupakan salah satu energi alternatif yang berpotensi untuk dikembangkan, MFC merupakan bio-elektrokimia yang memanfaatkan limbah organik sebagai sumber energi. Tujuan pada penelitian ini mengetahui pengaruh dari substrat sedimen lumpur kolam ikan dan limbah berupa nasi basi terhadap arus, tegangan dan kerapatan daya yang dihasilkan dengan sistem SMFC, dengan memvariasikan komposisi substrat di masing-masing reaktor dimana Reaktor I sebesar (800mL lumpur), Reaktor II sebesar (400 mL lumpur dan 400 mL nasi basi), Reaktor III sebesar (600 mL lumpur dan 200 mL nasi basi), Reaktor IV (200 mL lumpur dan 600 mL nasi basi), Reaktor V sebesar (800 mL nasi segar), dan Reaktor VI sebesar (800 mL nasi basi). Hasil pengukuran selama 14 hari, dapat disimpulkan bahwa dengan substrat lumpur kolam ikan pada Reaktor I menghasilkan produksi energi listrik yang lebih tinggi dengan nilai tegangan sebesar 795,17 mV, rapat arus sebesar 36,17 mA/m², dan kerapatan daya sebesar 28,76 mW/m² pada hari ke-14.

Kata Kunci: *Microbial Fuel Cell*, substrat, listrik, lumpur kolam ikan, limbah nasi.

Abstract

Energy needs in Indonesia will increase in line with population growth, the economy and technological development. Biomass energy has a very abundant availability in the future. This energy comes from organisms obtained from the surrounding natural environment from organic materials that are environmental friendly. Microbial Fuel Cell (MFC) called as Micro Tunam Cell is an potential alternative energy to be developed, MFC is a bio-electrochemical that utilizes organic waste as an energy source. The purpose of this study is to determine the effect of fishpond mud sediment substrate and waste in the form of rice waste on the current, voltage and power density generated by the MFC Single Chamber Sediment system, by varying the substrate composition in each reactor where Reactor I is (800mL mud), Reactor II of (400 mL of mud and 400 mL of rice waste), Reactor III of (600 mL of mud and 200 mL of rice waste), Reactor IV (200 mL of mud and 600 mL of rice waste), Reactor V of (800 mL rice), and Reactor VI of (800 mL rice waste). The results of measurement for 14 days can be concluded that the fish pond mud substrate in Reactor I produces higher electrical energy production with a voltage value of 795,17 mV, current density of 36,17 mA/m², and a power density of 28,76 mW/m² on the 14th day.

Keywords: *Microbial Fuel Cell*, substrate, electricity, fishpond mud, rice waste.

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi di Indonesia akan terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan penduduk, perekonomian dan perkembangan teknologi. Indonesia memiliki sumber daya energi fosil yang diperkirakan dalam kurun waktu 12 tahun akan habis [1]. Karena energi fosil termasuk sumber daya energi yang tidak dapat diperbaharui yang pada akhirnya potensi dari energi fosil akan semakin menipis. Oleh karena itu diperlukannya pengganti berupa energi alternatif atau energi terbarukan. Potensi energi terbarukan di Indonesia belum dimanfaatkan secara maksimal, salah satunya pada energi biomassa yang memanfaatkan limbah organik sebagai energi alternatif [2].

Microbial Fuel Cell (MFC) merupakan salah satu teknologi yang berasal dari mikroorganisme yang berpotensi untuk dikembangkan. MFC merupakan bio-elektrokimia dengan memanfaatkan substrat yang terdapat kandungan bakteri dan senyawa organik untuk menghasilkan energi. MFC ini mengubah atau mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi katalis menggunakan interaksi mikroorganisme [3]. Berbagai studi telah dilakukan dengan bentuk senyawa organik sebagai substrat seperti karbohidrat, glukosa, asam lemak, asam amino, protein, sukrosa, pati, limbah makanan, dan air limbah dari binatang maupun manusia

yang akan membentuk menjadi mikroorganisme untuk meningkatkan energi listrik. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Tagrid tahun 2018, menggunakan substrat sedimen kolam ikan, dan nasi basi sebagai tambahan limbah organik pada sistem *dual chamber Microbial Fuel Cell*, menghasilkan tegangan dan rapat arus listrik maksimal sebesar 0,955 V dan $164.38 \cdot 10^{-3} \text{ A/m}^2$. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Yayan Firmansyah menggunakan sedimen tambak udang dengan sistem *Sediment Microbial Fuel Cell* (SMFC) dapat menghasilkan puncak arus listrik 161.99 mA/m^2 dan tegangan senilai 0,39 V pada hari ke-24 [4]. Adapun penelitian SMFC dari Kothapalli Anata dengan menggunakan tanaman air reaktornya dapat menghasilkan kerapatan daya maksimum sebesar 18 mW/m^3 [5], dan pada penelitian Dessy dan Chanifah dengan memanfaatkan lumpur dengan menenamkan elektroda secara langsung pada area sampling dengan sistem SMFC dapat menghasilkan energi listrik tertinggi sebesar 0.199 A/m^2 [6].

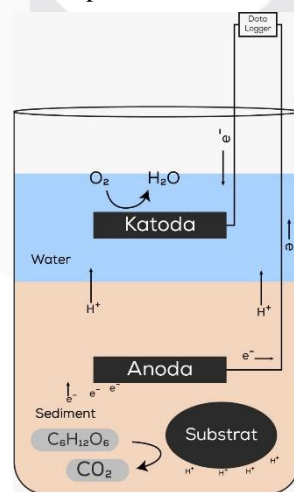
Pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan substrat sedimen lumpur kolam ikan dengan limbah organik berupa nasi basi menggunakan sistem SMFC. Pada SMFC ini memiliki kelebihan dalam desain yang relatif sederhana dibandingkan dengan dual chamber yang memerlukan jembatan garam yang memisahkan antara anoda dan katoda dalam desain reaktornya. Selain itu pada SMFC dapat diaplikasikan secara efisien dan efektif yang nantinya diharapkan dapat dikembangkan secara langsung [7]. Sistem SMFC ini banyak dilakukan oleh peneliti karena pada prinsip kerjanya yang sangat sederhana dimana anoda dan katoda menjadi satu wadah dengan cara menempatkan dua elektroda yang saling terhubung dengan kabel. Bagian anoda terletak pada sedimen substrat yang bersifat anaerobik, dimana substrat akan teroksidasi melalui aktivitas metabolisme untuk menghasilkan proton dan elektron. Sedangkan katoda terletak pada bagian air yang mengandung oksigen. Dari kedua elektron yang mengalir pada anoda dan katoda melalui kabel tersebut, menyebabkan terjadinya beda potensial yang akan menghasilkan energi listrik.

Substrat yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu lumpur kolam dan nasi basi. Lumpur kolam ikan mengandung banyak senyawa organik dan bakteri anerob didalamnya, sehingga dapat menghasilkan sumber listrik melalui aktivitas metabolismenya. Pada sedimen lumpur aktif memiliki bakteri penghasil listrik yang disebut bakteri elektroaktif atau *exoelectrogen*, yang mampu melakukan transfer elektron secara langsung dan tidak langsung. Sedangkan dengan penambahan limbah organik berupa nasi basi karena terdapat pada nasi memiliki kadar karbohidrat yang tinggi yaitu sekitar 40-50%. Nasi diperlukan sebagian sumber tambahan senyawa organik berupa glukosa untuk mendapatkan elektron dan proton dari proses pemecahan karbohidrat menjadi glukosa yang dibantu oleh bakteri dalam melakukan metabolisme. Maka dari itu penelitian yang akan di kembangkan dengan cara memvariasi komposisi antara substrat lumpur kolam ikan dan nasi basi untuk meningkatkan hasil produksi listrik dengan memanfaatkan limbah organik. Oleh karena itu diharapkan dari penggunaan substrat tersebut mampu menjadi langkah kedepan sebagai energi alternatif yang efisien menangani pengolahan limbah dan ramah lingkungan, serta dapat menghasilkan energi listrik yang optimal.

2. Metode Penelitian

2.1 Preparasi Desain Sistem Reaktor SMFC

Pada preparasi konstruksi reaktor mengacu pada penelitian Kothapalli Ananta yang menggunakan sistem *Single Chamber* SMFC. Desain ini hanya memiliki satu reaktor atau satu wadah saja, dimana anoda dan katoda dijadikan dalam satu wadah. Bagian anoda terletak dalam sedimen anaerob yang berada dibagian bawah, dan untuk katoda berada dalam air aerob dibagian atasnya, dengan menggunakan reaktor berbentuk tabung yang berukuran 1000 mL. Seperti pada Gambar 1 merupakan desain sistem konstruksi SMFC dibawah ini.



Gambar 1 Desain Sistem SMFC

Produksi Listrik pada sedimen MFC, di bagian anoda akan menghasilkan elektron (e^-) dan proton (H^+) dari degradasi substrat anaerob oleh bakteri dan elektron akan ditransfer melalui sirkuit eksternal ke penerima elektron di katoda. Sementara untuk sejumlah proton akan ditransfer ke katoda, untuk melakukan penyeimbangan melalui muatan yang ditransfer antara anoda dan katoda [8].

2.2 Preparasi Substrat

Preparasi substrat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari lumpur kolam ikan dan limbah nasi yang mengacu pada penelitian dari Tagrid tahun 2018. Umumnya pada sedimen budidaya perairan kolam ikan terdapat banyak ekosistem berupa bakteri (*Bacillus*, *Clostridium*, dan *Lactobacillus*), protozoa, dan organisme-organisme lain [9]. Serta pada hampir semua tanah terdapat bakteri *Shewanella* dan *Geobacter* yang biasa hidup dilapisan tanah bagian dalam.

2.3 Preparasi Material Elektroda

Material elektroda MFC yang harus digunakan memiliki persyaratan seperti konduktivitas yang tinggi, luas permukaan yang luas, tidak korosif, stabil secara kimiawi, tidak mencemari lingkungan, dan porositas yang tinggi [10].

Untuk material elektroda yang digunakan pada penelitian ini yaitu tembaga dan seng, karena pada penelitian sebelumnya yang dilakukan T. Nuzul Akbar didapatkan bahwa kombinasi seng dan tembaga yang memiliki kerapatan daya maksimum serta dapat memproduksi energi listrik dengan jumlah yang cukup besar.

Seng dan tembaga dibersihkan dengan cara direndam dalam larutan HCl dan NaOH, berguna untuk menghilangkan sisa kotoran, berupa lemak dan menetralkan elektroda dari kontaminasi logam dan bahan organik yang menempel pada bagian permukaan luar dari material elektroda. Setelah direndam pada kedua larutan tersebut selanjutnya akan dibilas dan direndam dengan aquades sampai elektroda akan digunakan.

2.4 Eksperimen

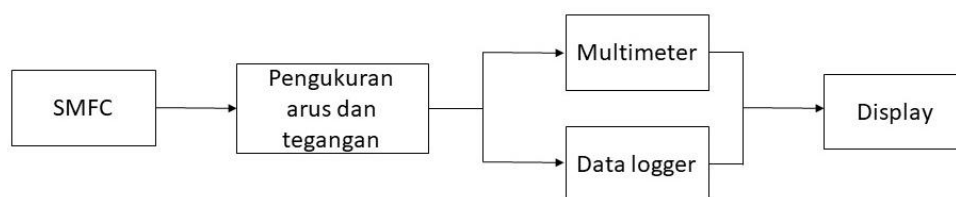
Eksperimen atau uji coba sistem ini dilakukan dengan cara memvariasikan komposisi substrat antara lumpur dan nasi basi. Sedimen lumpur dan nasi basi akan bercampur dalam satu wadah. Berikut merupakan perbandingan komposisi endapan air kolam ikan dengan limbah nasi:

Tabel 1 Variasi Komposisi Substrat pada Sistem.

Reaktor	Sedimen lumpur	Nasi basi	Nasi segar
I	800 mL	-	-
II	200 mL	600 mL	-
III	400 mL	400 mL	-
IV	600 mL	200 mL	-
V	-	-	800 mL
VI	-	800 mL	-

2.5 Pengukuran Arus (I) dan Tegangan (V) pada Sistem.

Sebelum dilakukan tahap pengukuran sistem dilakukan kalibrasi terlebih dahulu, agar hasil pengukuran akurat. Tahap pengukuran berupa arus (I) dan tegangan (V) pada sistem SMFC dilakukan dengan menggunakan multimeter dan data logger, serta pengambilan data dilakukan selama 14 hari seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram Pengukuran

Data logger ini nantinya akan membaca hasil data berupa tegangan yang dihasilkan oleh sistem, kemudian data tersebut tersimpan didalam *SD Card*. Dari data pengukuran arus dan tegangan akan diperoleh nilai daya, dan kerapatan daya menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P = V \times I \quad (1)$$

$$P_d = \frac{P}{\text{luas permukaan}} \quad (2)$$

Keterangan :

P = Daya listrik (watt)

I = Kuat arus listrik (ampere)

V = Tegangan (V)

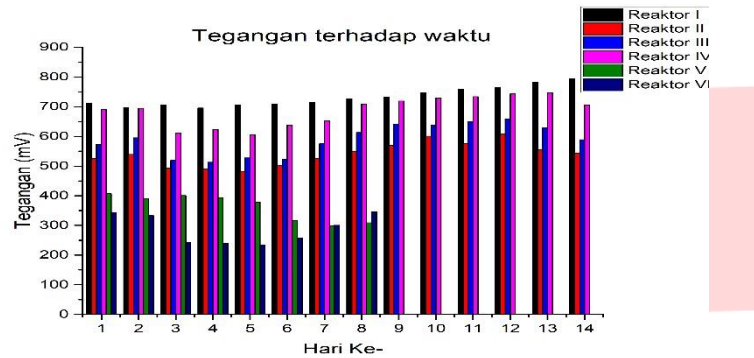
A = Luas permukaan (m^2)

P_d = Power density (watt/ m^2)

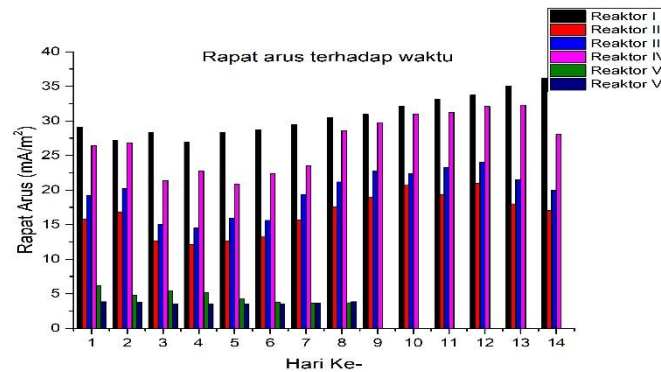
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengukuran Tegangan, Arus, pH dan Suhu pada Variasi Komposisi Substrat

Pengukuran tegangan dan arus dilakukan dengan dua cara, untuk tegangan menggunakan data logger dengan menghubungkan sensor tegangan yang terhubung dengan mikrokontroler, dan untuk pengukuran arus menggunakan multimeter digital XL830L (200mV-600mV dan 200µA-10A). Kutub positif pada SMFC yaitu bagian atas air dihubungkan pada kutub positif dari data logger dan multimeter, sedangkan kutub di negatif SMFC yaitu bagian lumpur endapan di hubungkan pada kutub negatif dari data logger dan multimeter. Pengukuran tegangan dan arus diukur setiap sejam sekali selama 14 hari. Adapun hasil rata-rata tegangan dan rapat arus per-harinya yang telah diukur pada sistem SMFC dapat dilihat Gambar 3 dan Gambar 4.

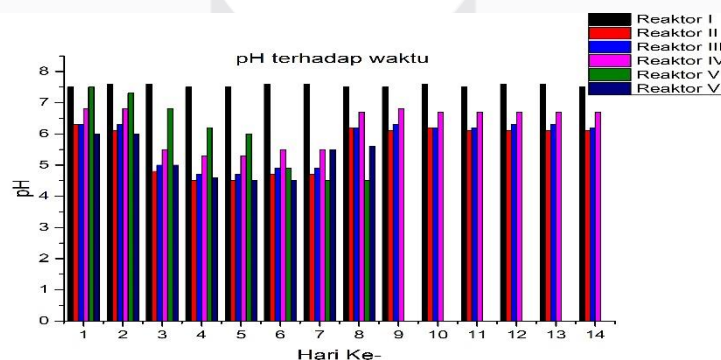


Gambar 3 Diagram pengukuran tegangan rata-rata per-hari pada Variasi Komposisi Substrat.

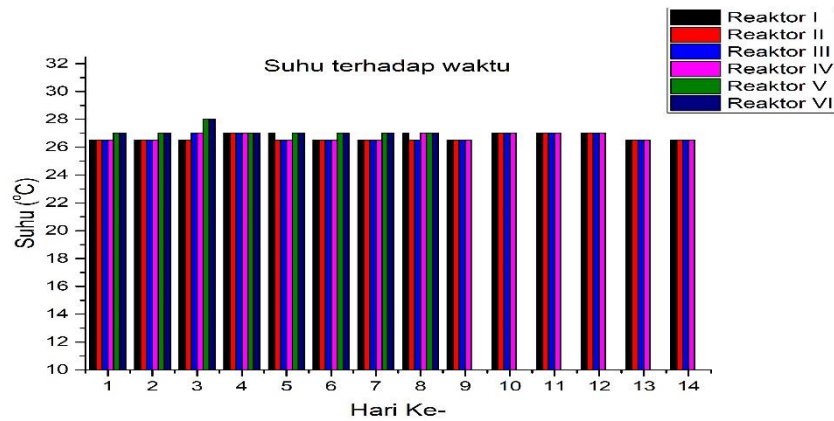


Gambar 4 Diagram pengukuran rapat arus rata-rata per-hari pada variasi komposisi substrat.

Pada pengukuran pH dan suhu dilakukan menggunakan pHmeter dan termometer setiap hari selama 14 hari. Adapun hasil pengukuran pH dan suhu yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5 Grafik pengukuran pH pada variasi komposisi substrat.



Gambar 6 Grafik pengukuran suhu variasi komposisi substrat.

Pada Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan hasil pengukuran tegangan dan rapat arus yang dihasilkan dari beberapa reaktor dari masing-masing variasi komposisi substrat. Pada hari pertama pengukuran diperoleh rata-rata tegangan dan rapat arus sebesar 712 mV dan 29,07 mA/m² untuk Reaktor I, 526 mV dan 15,8 mA/m² untuk Reaktor II, 573 mV dan 19,2 mA/m² untuk Reaktor III, 689,67 mV dan 26,47 mA/m² untuk Reaktor IV. Dan dapat dilihat juga bahwa puncak tegangan dan Rapat Arus tertinggi dihasilkan pada Reaktor I dihari ke-14 sebesar 795,17 mV dan 36,17 mA/m². Pada hari ke-1 hingga ke-7 untuk Reaktor I menghasilkan tegangan dan arus listrik yang fluktuatif, tetapi pada hari ke-8 hingga ke-14 mengalami peningkatan hal ini disebabkan terjadi karena hasil dari aktivitas dan jumlah mikroorganisme pada sedimen lumpur yang makin meningkat. Namun untuk Reaktor II, III dan IV pada hari ke-13 dan ke-14 mengalami penurunan arus dan tegangan, ini disebabkan terjadi karena senyawa organik yang terdapat dalam lumpur dan nasi basi terus menerus terdegradasi dan menyebabkan tidak adanya senyawa organik yang tersisa yang akan dioksidasi [11]. Dari Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan perolehan diagram yang fluktuatif pada tegangan dan arus listrik perharinya. Hal ini diasumsikan terjadi karena adanya interaksi maupun persaingan antara bakteri dalam mendekomposisi kandungan senyawa organik. Penurunan dan peningkatan tegangan dan arus listrik yang berbeda pada setiap reaktor memiliki keterkaitan dengan *Terminal Electron Acceptor* (TEA) yang berdifusi melalui sel, kemudian elektron tersebut akan diterima oleh elektron akseptor (anoda) melalui rangkaian luar berupa kabel ke katoda, dan proton mengalir menuju katoda sehingga menghasilkan biolistrik [12][13].

Hasil pengukuran tegangan dan rapat arus pada Reaktor V (800 mL nasi segar) dan Reaktor VI (800 mL nasi basi) dilakukan selama 8 hari, dimana untuk Reaktor VI perlakuan nasi basi ini dilakukan dengan membasikan nasi segar terlebih dahulu selama 3 hari. Reaktor V menghasilkan rata-rata tegangan dan rapat arus tertinggi dibandingkan dengan Reaktor VI. Dimana Reaktor V menghasilkan rata-rata tegangan dan rapat arus sebesar 361,32 mV dan 4,61 mA/m², dan Reaktor VI menghasilkan rata-rata tegangan dan rapat arus sebesar 287,04 mV dan 3,65 mA/m². Dari hasil pengukuran tegangan dapat dilihat *retention time* antara nasi segar dan nasi basi, *retention time* yang dimaksud ialah dimana nasi segar dan nasi basi dapat menghasilkan produksi listrik yang optimal dan nilai pH yang optimal pada hari ke berapa. Reaktor V dari hari pertama hingga ke empat masih menghasilkan tegangan yang stabil, akan tetapi setelah hari keempat sudah mengalami penurunan. Pada hari pertama hingga ke empat diduga bahwa pada nasi segar masih terjadi penguraian senyawa organik melalui proses hidrolisis dalam reaktor, dan pada hari ke lima reaktor sudah mengalami proses asam fermentasi karena kadar glukosa pada nasi digunakan bakteri dalam melakukan aktivitas metabolisme yang dapat menghasilkan asam. Untuk Reaktor VI hari pertama hingga ke enam sudah mengalami penurunan tegangan. Hal ini disebabkan bahwa nasi basi sudah terlebih dahulu mengalami pembasian selama 3 hari dan sudah mengalami proses asam fermentasi dengan terjadinya pembentukan asam-asam organik di dalam reaktor. Untuk hari ketiga pada Reaktor V dan hari pertama pada Reaktor VI hasil yang didapatkan justru lebih tinggi pada Reaktor V pada hari ketiga, karena pada Reaktor VI diasumsikan masih banyak kandungan glukosa pada nasi tersebut yang menyebabkan hasil produksi listrik lebih tinggi dan nilai pH yang dihasilkan masih mendekati pH yang netral, sedangkan pada Reaktor VI sudah terjadi proses fermentasi terlebih dahulu dengan dilihat dari nilai pH yang cenderung asam.

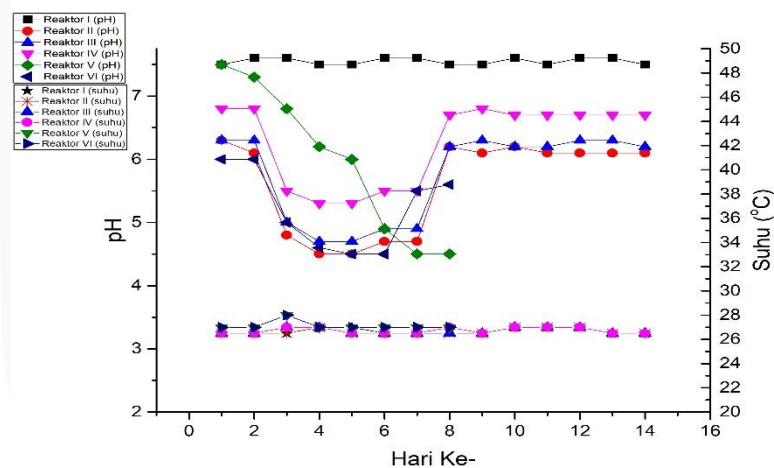
Dapat dilihat juga dari hasil pengukuran pH pada Gambar 5 bahwa pH yang dihasilkan dari Reaktor VI hari pertama cenderung sudah mengalami penurunan yang diakibatkan di dalam reaktor tersebut sudah mengalami asam fermentasi terlebih dahulu. Pada Reaktor V hari pertama masih menghasilkan pH yang mendekati netral yaitu 7,5, akan tetapi setelah hari ke lima pH sudah mengalami penurunan hingga kurang dari 6 yang mengakibatkan nilai produksi listrik juga ikut menurun. Sedangkan untuk Reaktor II, III, dan IV pada hari ke-3 hingga ke-7 dengan penambahan nasi basi cenderung mengalami penurunan pH atau derajat keasaman hingga <5, ini diakibatkan adanya produksi asam fermentasi yang terjadi pada nasi basi yang ada di dalam reaktor. Produksi fermentasi pada reaktor disebabkan karena kadar glukosa pada nasi basi digunakan bakteri dalam melakukan

aktivitas metabolisme yang dapat menghasilkan asam. Akibat dari penurunan pH produksi energi listrik yaitu tegangan dan arus juga mengalami penurunan. Namun setelah hari ke-7 pH kembali normal mendekati pH netral dan produksi energi listrik yang dihasilkan juga mengalami peningkatan [14]. Untuk Reaktor I produksi energi listrik yang dihasilkan cenderung lebih stabil karena pH dari hasil pengukuran mendekati pH netral di rentang 7,5 hingga 7,6. pH merupakan parameter yang sangat penting pada MFC dan termasuk faktor kritis untuk proses mikroba. Nilai pH dapat mempengaruhi hasil dari produksi energi listrik pada sistem MFC, jika pH dari substrat terlalu rendah atau tinggi maka dapat mempengaruhi metabolisme bakteri, pertumbuhan bakteri, juga berpengaruh terhadap transfer proton dan reaksi katoda sehingga berdampak pada performa MFC yaitu pada produksi energi listrik [15]. Sebagian besar MFC beroperasi pada lingkungan pH substrat yang mendekati netral yaitu 6,5 hingga 7,5 dengan alasan untuk menjaga kondisi pertumbuhan optimal pada mikroba yang terlibat dalam pembentukan listrik [16][17]. Kinerja MFC dan kondisi pH memiliki hubungan yang erat pada sistem MFC, dimana ketika nilai pH menurun secara signifikan maka *output* tegangan dan arus yang dihasilkan akan rendah [18].

Pada Gambar 6 yaitu menunjukkan diagram hasil pengukuran suhu pada masing-masing reaktor. Suhu yang didapatkan dari hasil pengukuran cenderung dalam keadaan suhu yang stabil berkisar antara 26,5 °C hingga 28 °C. Hal ini disebabkan suhu yang ada dalam lumpur dan nasi basi tersebut menyesuaikan suhu yang ada pada lingkungan sekitar. Kinerja bakteri untuk mentransfer massa proton melalui laju reaksi oksigen pada katoda bergantung juga dari suhu pada sistem MFC dan sebagai penentu performa sistem MFC, umumnya sebagian besar sistem MFC akan menghasilkan produksi energi listrik yang optimal pada suhu sekitar 28°C hingga 35°C [16][17].

3.3 Hubungan Grafik pH dan Suhu

pH dan suhu merupakan faktor penting dan faktor kritis bagi kinerja sistem SMFC. Hasil nilai pH dan suhu akan mempengaruhi hasil produksi energi listrik yang diperoleh dari bakteri penghasil listrik atau berbanding lurus. Dimana jika nilai pH dan suhu meningkat maka bakteri yang menghasilkan listrik akan meningkat dan bekerja secara optimal dalam menghasilkan energi listrik. Umumnya sistem MFC akan menghasilkan produksi listrik yang optimal dengan pH sekira 6,5 hingga 7,5 dan suhu sekitar 28°C hingga 35°C.



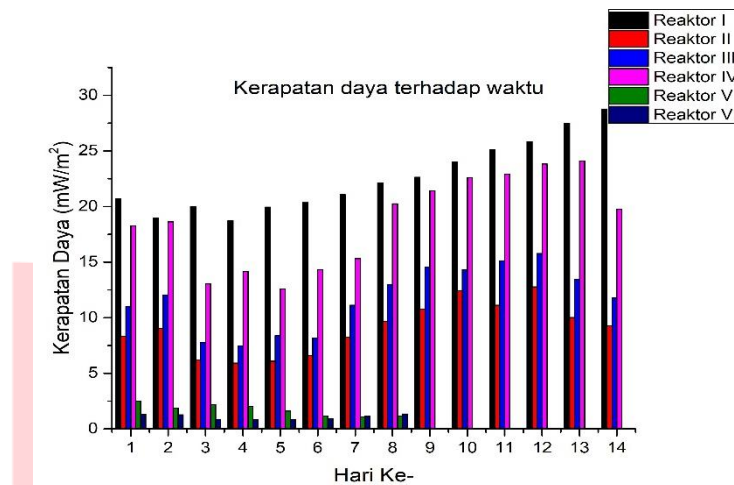
Gambar 7 Hubungan pH dan suhu pada variasi komposisi substrat.

Gambar 7 menunjukkan grafik hubungan antara pH dan suhu pada variasi komposisi substrat. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa tidak ada pengaruh yang signifikan dari hasil pengukuran pH dan suhu. Namun dari perubahan kedua parameter yaitu pH dan suhu akan berpengaruh besar terhadap hasil produksi energi listrik pada sistem SMFC.

Nilai pengukuran pH yang dihasilkan dari ke empat reaktor berbeda-beda. Reaktor I menghasilkan nilai pH yang cenderung stabil 7,5 dan 7,6. Reaktor II, III dan IV menghasilkan nilai pH yang mengalami penurunan hingga <5 pada hari ketiga hingga ke tujuh, namun setelah hari ke tujuh pH untuk reaktor II, III dan IV naik mendekati nilai pH 6,5. Pada Reaktor V hari pertama menghasilkan pH yang mendekati netral yaitu 7,5 akan tetapi setelah hari ke lima pH mengalami penurunan hingga dibawah 6, dan pada Reaktor VI dari hari pertama hingga ke enam sudah mengalami penurunan pH dibawah 6. Sedangkan untuk hasil pengukuran suhu dari ke enam reaktor cenderung berada pada suhu yang stabil sekitar 26,5 °C hingga 28°C.

3.3 Hasil Pengukuran Kerapatan Daya pada Variasi Komposisi Substrat

Kerapatan daya merupakan perkalian antara rapat arus dan tegangan yang dihasilkan pada reaktor. Adapun perhitungan dari kerapatan daya menggunakan rumus pada persamaan 1 dan 2. Berikut merupakan hasil diagram kerapatan daya rata-rata perhari yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Diagram pengukuran kerapatan daya rata-rata per-hari pada variasi komposisi substrat.

Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat bahwa diagram yang dihasilkan pada kerapatan daya tidak jauh berbeda dengan tegangan dan rapat arus yang dihasilkan, ini terjadi karena kerapatan daya berbanding lurus dengan tegangan dan rapat arus per permukaan luas elektroda yang dihasilkan. Maka dari itu kerapatan daya diperoleh dari perkalian antara tegangan dan rapat arus dengan satuan mW/m^2 . Reaktor I (800 mL Lumpur) menghasilkan produksi listrik yang stabil dengan rata-rata kerapatan daya sebesar $22,54 \text{ mW/m}^2$, dan puncak kerapatan daya tertinggi pada hari ke-14. Reaktor II (200 mL lumpur + 600 mL nasi basi) menghasilkan produksi listrik yang fluktuatif dengan rata-rata kerapatan daya sebesar $9,03 \text{ mW/m}^2$ dan puncak kerapatan daya tertinggi pada hari ke-12. Reaktor III (400 mL lumpur + 400 mL nasi basi) menghasilkan produksi energi listrik yang fluktuatif atau tidak stabil dengan rata-rata kerapatan daya sebesar $11,71 \text{ mW/m}^2$, dan puncak kerapatan daya tertinggi pada hari ke-12. Reaktor IV (600 mL lumpur + 200 mL nasi basi) menghasilkan produksi listrik yang fluktuatif sama seperti Reaktor II dan III dengan rata-rata kerapatan daya sebesar $18,65 \text{ mW/m}^2$, dan puncak kerapatan daya tertinggi pada hari ke-13. Sedangkan pada Reaktor V (800 mL nasi segar) dan Reaktor VI (800 mL nasi basi) menghasilkan rata-rata kerapatan daya selama 8 hari sebesar $1,70 \text{ mW/m}^2$ untuk Reaktor V, $1,06 \text{ mW/m}^2$ untuk Reaktor VI. Dari hasil rata-rata kerapatan daya kedua reaktor antara Reaktor V dan VI perbedaannya tidak jauh berbeda. Hal ini disebabkan karena nilai pH yang ada pada Reaktor V dan VI juga sama-sama cenderung mengalami penurunan dan terjadi asam fermentasi di dalamnya.

Dapat dikatakan bahwa variasi Reaktor I menghasilkan kerapatan daya terbesar dan lebih stabil dibandingkan dengan Reaktor II, III, IV, V dan VI dimana jumlah bakteri penghasil listrik yang hidup dan mati dalam keadaan seimbang sehingga tidak terjadi perubahan kerapatan daya yang begitu signifikan. Dapat dikatakan peran sedimen lumpur kolam berpengaruh besar terhadap sumber bakteri penghasil listrik, semakin banyak volume lumpur yang ada di dalam reaktor maka akan semakin besar produksi energi listrik yang dihasilkan, karena pada lumpur memiliki banyak kandungan bakteri exoelectrogen atau bakteri penghasil listrik yang mana bakteri tersebut memiliki kemampuan melakukan transfer elektron secara langsung dan tidak langsung ke elektroda. Selain itu produksi energi listrik pada sistem SMFC juga dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain pH, suhu, dan elektron yang dapat berpindah serta proton yang dapat berdifusi ke katoda.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diperoleh kesimpulan bahwa. Produksi listrik sistem SMFC tertinggi dihasilkan pada Reaktor I yaitu dengan hasil pengukuran tegangan sebesar $795,17 \text{ mV}$, rapat arus sebesar $36,17 \text{ mA/m}^2$, dan kerapatan daya sebesar $28,76 \text{ mW/m}^2$ pada hari ke-14.

Semakin besar volume penambahan nasi basi maka semakin rendah nilai pH, hal ini karena adanya produksi asam fermentasi di dalam reaktor. pH mempengaruhi hasil produksi listrik pada sistem SMFC, dimana sistem SMFC akan menghasilkan produksi energi listrik yang optimal dengan pH berkisar antara 6,5 hingga 7,6.

Daftar Pustaka

- [1] A. Sugiyono, F. Anindhita, L. Ode, and M. Abdul, *Outlook Energi Indonesia 2016*, no. January. 2016.
- [2] E. Prasodjo, H. Nurzaman, Walujanto, D. Rosdiana, and P. Ismutadi, *Outlook Energi Indonesia 2016*. Jakarta: Dewan Energi Nasional, 2016.
- [3] A. Patra, "Low-Cost , Single-Chambered Microbial Fuel Cells for Harvesting Energy and Cleansing Wastewater," *J. U.S. SJWP*, pp. 72–85, 2008.

- [4] T. Ruwaida, M. R. Kirom, and A. Qurthobi, "Studi Potensi Pengaruh Penambahan Nasi Basi pada Sedimen Kolam Ikan Universitas Telkom Sebagai Sumber Energi Listrik Melalui Sistem Sel Tunam Mikroba (STM)," Bandung: Universitas Telkom, 2018.
- [5] Y. Firmansyah, "Degradasi Bahan Organik dan Pemanfaatannya Sebagai Penghasil Energi Listrik Pada Sedimen Tambak Udang Melalui Sediment Microbial Fuel Cell," Institut Pertanian Bogor, 2011.
- [6] D. R. Sari and C. Hidayat, "Studi Pemanfaatan Lumpur Sebagai Sumber Alternatif Energi dengan Menggunakan Microbial Fuel Cell (MFCs)," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [7] K. Rabaey and W. Verstraete, "Microbial fuel cells: Novel biotechnology for energy generation," *Trends Biotechnol.*, vol. 23, no. 6, pp. 291–298, 2005.
- [8] L. V. Reddy, *Potential Bioresources as Future Sources of Biofuels Production : An Overview Biofuel Technologies*, no. August 2013. Laxmangarh: Springer, 2015.
- [9] M. H. Azhar and M. F. Ulkhaq, "Kelimpahan dan Keanekaragaman Bakteri Pada pembenihan Ikan Lele (*Clarias gariepinus*) dengan Sistem Air Tertutup (Close Water System)," *J. Aquac. Sci.*, vol. 2, no. April, pp. 81–89, 2017.
- [10] Chang Raymond, *Kimia Dasar: Konsep-Konsep Inti*, Tiga. Jakarta: Erlangga, 2005.
- [11] B. Logan, *Microbial Fuel Cell. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.* 2007.
- [12] A. Hermayanti, "Potensi perolehan energi listrik dari limbah cair industri tahu dengan metode salt bridge microbial fuel cell," vol. 3, no. 2, pp. 162–168, 2014.
- [13] B. E. Logan, *Microbiology : Exoelectrogenic Bacteria That Power Microbial Fuel Cells*. New York: Macmilan Publishers, 2009.
- [14] S. Puig, M. Serra, M. Coma, M. Cabré, M. D. Balaguer, and J. Colprim, "Bioresource Technology Effect of pH on Nutrient Dynamics and Electricity Production Using Microbial Fuel Cells," vol. 101, pp. 9594–9599, 2010.
- [15] D. Das, *Microbial fuel cell: A bioelectrochemical system that converts waste to watts*. 2017.
- [16] A. L. Kothapalli, "Sediment Microbial Fuel Cell as Sustainable Power Resource," University Wisconsin Milwaukee, 2013.
- [17] T. Catal, S. Xu, K. Li, H. Bermek, and H. Liu, "Electricity generation from polyalcohols in single-chamber microbial fuel cells," *Biosens. Bioelectron.*, vol. 24, no. 4, pp. 849–854, 2008.
- [18] E. Zhang, L. Liu, and Y. Cui, "Effect of pH on The Performance of The Anode in Microbial Fuel Cells," *Adv. Mater. Res.*, vol. 608–609, pp. 884–888, 2013.