

**PENGARUH ELEKTRODA PADA KINERJA *MICROBIAL FUEL CELL*
TERHADAP KERAPATAN DAYA LISTRIK YANG DIHASILKAN
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***

Paramitha Octavia¹, M. Ramdhan Kirom, S.Si., M.Si², Reza Fauzi Iskandar, S.Pd., M.T³

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

¹octavia.paramitha4@gmail.com, ²jakasantang@gmail.com, ³rezafauzii@gmail.com

Abstrak

Pertumbuhan penduduk sangatlah berkaitan dengan konsumsi energi, semakin meningkat jumlah penduduk maka konsumsi energi yang dibutuhkan semakin besar sedangkan potensi sumber energi waktunya tidak lama. Sumber energi mayoritas bersumber dari energi fosil, Dimana energi fosil tidak dapat diperbarui dan jumlahnya terbatas. Maka dibutuhkan suatu pengembangan energi yang dapat dijadikan energi alternatif. Salah satu energi alternatif yang sudah banyak digunakan yaitu *Microbial Fuel Cell*. *Microbial Fuel Cell* adalah perangkat yang memanfaatkan mikroorganisme sebagai biokatalis untuk mengoksidasi kandungan organik dan anorganik dengan proses anaerobik untuk menghasilkan listrik. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh dalam pemilihan bahan logam sebagai elektroda dalam perangkat *Microbial Fuel Cell*, bahan logam yang digunakan yaitu timah, seng, dan tembaga berbentuk pelat dengan luas permukaan 10 cm^2 yang dipemasangkannya dikombinasikan. Reaktor yang digunakan dalam penelitian yaitu *Microbial Fuel Cell Dual Chamber*, pada reaktor ini terdapat dua ruang yaitu ruang anoda dan katoda yang dipisahkan oleh jembatan garam. Pada ruang anoda berisi lumpur bakau yang berlokasi di Jembatan Cinta Muara Gembong Kabupaten Bekasi, ruang katoda berisi akuades, dan larutan elektrolit pada jembatan garam yaitu NaCl yang berkonsentrasi 1 Molaritas. *Output* yang dihasilkan dalam penelitian *Microbial Fuel Cell Dual Chamber* yaitu nilai kuat arus dan tegangan. Setelah itu diolah untuk mendapatkan nilai daya dan kerapatan daya. Pengukuran dilakukan setiap 10 menit selama 180 menit atau 3 jam dengan dua kali pengukuran. Pengukuran tegangan dan arus sebagai *output* diukur tanpa menggunakan hambatan luar atau disebut *open circuit*. Berdasarkan hasil penelitian yaitu kombinasi maksimum dengan menggunakan variasi seng dengan tembaga, nilai kerapatan daya yang diperoleh berbanding lurus dengan nilai dan kuat arus per luas permukaan elektroda, yaitu $61,39 \frac{\text{mW}}{\text{m}^2}$ pada pengukuran pertama menit ke 140 dan $56,745 \frac{\text{mW}}{\text{m}^2}$ pada pengukuran kedua menit ke 110.

Kata kunci : *Microbial Fuel cell Dua Chamber, Elektroda, Lumpur Bakau*

Abstract

There is a strong proportional relation between population growth and energy consumption basis which could cause depletion of energy source in a short time. Fossil energy, the major source of today's energy, need to be developed or replaced by a more renewable alternative. One of the alternatives that have been used broadly is Microbial Fuel Cell. Microbial Fuel Cell uses microorganism as biocatalyst to oxidize organic and inorganic compositions with anaerobic process to generate electricity. This research intends to understand how the different materials of Microbial Fuel Cell Electrodes affect its performance. The metals to be observed are lead, zinc, and copper in a shape of plate with surface area 10 cm^2 . In this research, pair of electrodes either has same metals combination in both cathode and anode or different metals in

cathodes and anodes. Reactor used in this research is Dual Chamber Microbial Fuel Cell, which has sodium chloride bridge between the electrodes with the concentration of 1 M. The anode is filled with mangrove mud from Cinta Muara Gembong Bridge, Bekasi, while the cathode is filled with pure H₂O. Outputs of this research are electric voltage and current value which then be calculated to get power and power density. Measurement will be done every 10 minutes in 180 minutes in the same time twice with digital multimeter, Measurements were performed every 10 minutes for 180 minutes or 3 hours with two measurements. Measurement of voltage and current as outputs is measured without the use of external resistance or called open circuit. Based on the research result that is maximum combination using zinc with copper variation, the power density value obtained is directly proportional to the value and the current strength per electrode surface area, which is $61,39 \frac{mW}{m^2}$ at the first measurement 140 minutes and $56,745 \frac{mW}{m^2}$ at the second measurement of 110 minutes.

Keywords: *Microbial Fuel Cell, electrodes, mangrove mud.*

1. Pendahuluan

Pertumbuhan penduduk yang meningkat menyebabkan peningkatan konsumsi energi semakin besar, sehingga penggunaan sumber energi pun besar sedangkan jangka waktu potensi pemanfaatan sumber energi tidak lama [1]. Bahan bakar yang berasal dari fosil bersifat tidak dapat diperbarui sehingga apabila diproduksi terus menerus dipastikan akan habis. Maka dari itu, dibutuhkan suatu pengembang energi yang dapat dijadikan alternatif yang bersifat terus menerus dan jumlahnya tidak terbatas sebagai sumber energi terbarukan agar dapat memenuhi konsumsi energi dan dapat dijadikan terobosan baru. Teknologi yang sudah banyak dikembangkan salah satunya adalah *bio electrochemical system*. *BioElectrochemical System* adalah sebuah sistem dimana mikroorganisme dapat berinteraksi dengan elektroda menggunakan elektron yang dilepas atau disuplai melalui sirkuit elektrik. Jenis *BioElectrochemical System* yang paling banyak digunakan adalah *Microbial Fuel Cell* [2]. *Microbial fuel cell* adalah perangkat yang memanfaatkan metabolisme mikroorganisme dengan sistem bioelektrokimia untuk menghasilkan listrik [6]. Elektron diproduksi oleh bakteri dari substrat yang ditransfer ke anoda mengalir ke katoda yang dihubungkan dengan bahan konduksi [3].

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Dessy Rosita Sari dan Chanifah Hidayah Mahasiswi Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri ITS pada Januari 2017, yang berjudul Studi Pemanfaatan Lumpur Sebagai Sumber Alternatif Energi Dengan Menggunakan *Microbial Fuel Cell*, dalam penelitian ini menggunakan bahan logam nikel dan timbal sebagai elektroda, substrat yang digunakan yaitu variasi lumpur diantaranya lumpur air tanah, air bakau, air laut tambak wedi, dan air laut di area bakau kenjeran. Berdasarkan Hasil penelitian menunjukkan nilai tegangan yang dihasilkan yaitu sebesar 212 V, 267 V, 280 V, dan 320 V, nilai arus listrik sebesar 0.21 A, 0.27 A, 0.28 A, dan 0.32 A, dan nilai kerapatan daya sebesar $44.94 \frac{mW}{m^2}$, $71.289 \frac{mW}{m^2}$, $78.400 \frac{mW}{m^2}$, dan $102.400 \frac{mW}{m^2}$ [6]. Penelitian yang dilakukan T. Nuzul Akbar Mahasiswa Progam Studi Teknik Fisika Fakultas Teknik Elektro Telkom University pada 23 Mei 2017, yang berjudul Analisis Pengaruh Material Logam Sebagai Elektroda *Microbial Fuel Cell* Terhadap Produksi Energi Listrik Dengan Menggunakan aluminium, seng, dan tembaga sebagai elektroda, 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 sebesar $32.62 \frac{mW}{m^2}$ dengan menggunakan kombinasi seng dengan tembaga [5].

Dalam penelitian tugas akhir ini, peneliti ingin melakukan percobaan dengan menggunakan lumpur bakau sebagai substrat dan variasi bahan logam sebagai elektroda diantaranya timah, seng, dan tembaga. Untuk mengetahui nilai tegangan dan arus yang dihasilkan dari *output pengukuran Microbial Fuel Cell Dual Chamber*, setelah itu diolah untuk mendapatkan nilai daya dan kerapatan daya.

2. Dasar Teori

2.1 Sel Volta

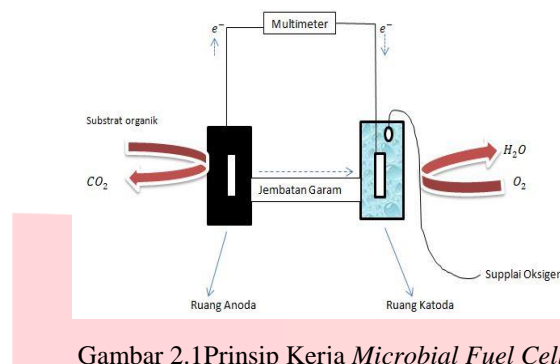
Sel volta yaitu sel elektrokimia yang dapat menyebabkan terjadinya suatu energi listrik dari suatu reaksi redoks yang berlangsung secara spontan [5]. Reaksi redoks atau yang dikenal dengan reaksi reduksi oksidasi yaitu suatu reaksi transfer elektron [6]. Reaksi redoks dapat berlangsung

secara spontan dan tidak spontan. Suatu reaksi redoks dapat berlangsung secara spontan apabila nilai potensial sel yang dihasilkannya bertanda positif sedangkan reaksi redoks yang berlangsung tidak spontan yaitu nilai potensial sel yang dihasilkan bertanda negatif [5].

2.2 *Microbial Fuel Cell*

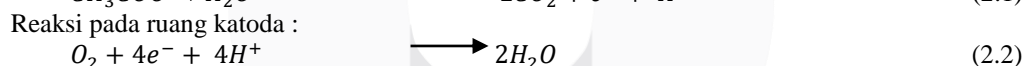
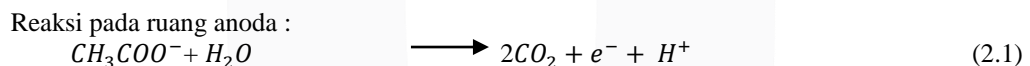
Microbial Fuel Cell adalah perangkat yang memanfaatkan metabolisme mikroorganisme dengan sistem bioelektrokimia untuk menghasilkan listrik [5]. *Microbial fuel cell* mempunyai kemampuan untuk mengubah biomassa menjadi listrik pada temperatur rendah dan konsentrasi substrat [4].

2.2.1 Prinsip Kerja *Microbial Fuel Cell*



Gambar 2.1 Prinsip Kerja *Microbial Fuel Cell*

Didalam perangkat *Microbial Fuel Cell* terjadi metabolisme substrat organik oleh mikroorganisme dan terjadi transfer elektron ke permukaan elektroda. Oksidasi dari bahan organik melepaskan elektron dan proton dari substrat yang teroksidasi. Elektron yang ditransfer ke anoda menuju ke katoda melalui sebuah jaringan elektrik. Proton berpindah ke katoda lalu bergabung dengan elektron dan oksigen yang berkurang ke permukaan katoda. Proton yang berpindah ke ruang katoda dibawa oleh jembatan garam sebagai membran pembawa proton kemudian bergabung dengan oksigen yang dapat menghasilkan air diruang katoda. Produk oksidasi yang dikeluarkan diruang anoda berupa karbondioksida [7]. Misal substrat diruang katoda berupa asetat, berikut adalah reaksi yang terjadi [4] :



2.2.2 Jenis Ruang Pada *Microbial Fuel Cell*

Berdasarkan ruangnya terdapat tiga jenis pada perangkat *Microbial Fuel Cell* yaitu *Single Chamber Microbial Fuel Cell*, *Dual Chamber Microbial Fuel Cell*, dan Skema *Stack Microbial Fuel Cell*. Pada *Dual Chamber Microbial Fuel Cell* memiliki dua ruang yang dipisahkan oleh *Proton Exchange Membrane* (PEM) atau jembatan garam. Dimana, pada ruang anoda berisi substrat dan bakteri sedangkan pada ruang katoda berisi larutan elektrolit [9]. Yang membedakan antara *Single Chamber Microbial Fuel Cell* dengan *Dual Chamber Microbial Fuel Cell* yaitu pada jumlah ruang. Pada *Single Chamber Microbial Fuel Cell* hanya memiliki satu ruang yang berisi substrat dan larutan elektrolit. Skema *Dual Chamber Microbial Fuel Cell* ditunjukkan pada gambar 2.3. Sedangkan *Stack Microbial Fuel Cell* yaitu rangkaian dari beberapa unit dari *Single Chamber Microbial Fuel Cell* maupun *Dual Chamber Microbial Fuel Cell* yang dirangkai seri, paralel atau seri paralel. Skema *Stack Microbial Fuel Cell* ditunjukkan pada [8].

2.2.3 Komponen Utama *Microbial Fuel Cell*

1. Elektroda

Didalam membuat perangkat *Microbial Fuel Cell* dibutuhkan elektroda sebagai salah satu komponen penunjang. Bahan logam sebagai elektroda yang digunakan untuk membuat *Microbial Fuel Cell* yaitu harus memiliki konduktivitas listrik yang baik, membutuhkan luas permukaan yang luas, tidak korosif, biokompatibel, dan bersifat stabil secara kimiawi maupun mekanis agar mendapatkan hasil yang dapat direproduksi. Peran penting dalam pembuatan *Microbial Fuel Cell*

yaitu Jarak antara elektroda yang harus memiliki jarak sedekat mungkin untuk mencegah kebocoran listrik dan mengurangi nilai hambatan internal [6].

2. Jembatan Garam

Jembatan garam yaitu memiliki fungsi yang sama seperti membran penukar proton [10]. Dengan adanya jembatan garam akan terjadi aliran elektron yang terus menerus melalui kawat pada rangkaian luar dan aliran ion-ion melalui larutan sebagai akibat dari redoks yang spontan dan terjadi pada kedua elektroda. Syarat jembatan garam adalah transfer anion dan kation hampir sama [11]. Pada umumnya jembatan terdapat diantara ruang anoda dan katoda atau sebagai pemisah antara ruang anoda dengan katoda.

3. Substrat

Substrat adalah sumber untuk menghasilkan listrik dalam perangkat *Microbial Fuel Cell* sebagai bahan organik dan mikroba didalam substrat dapat menjadi bioelektrokimia. Kandungan mikroba dalam lumpur aktif dapat digunakan pada perangkat *Microbial Fuel Cell* untuk menghasilkan energi listrik melalui proses penghancuran senyawa-senyawa organik. Lumpur aktif adalah ekosistem yang kompleks yang terdiri dari bakteri, protozoa, virus, dan organisme-organisme lain [12].

3. Pembahasan

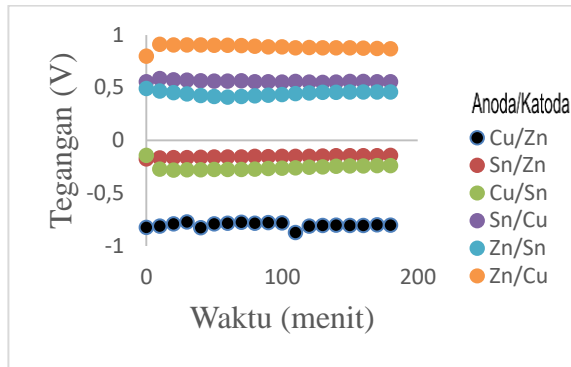
3.1 *Microbial Fuel Cell*

Desain *Microbial Fuel Cell* digunakan dalam penelitian yaitu berbasis *BioElectrochemical System* dengan jenis ruang yang digunakan yaitu *Dual Chamber Microbial Fuel Cell*, dimana pada jenis ruang ini terdapat dua ruang yang dipisahkan oleh jembatan garam. Dua ruang yang dipisah yaitu ruang anoda dan ruang katoda, dimana ruang anoda sebagai ruang untuk wadah lumpur bakau, lumpur bakau yang digunakan sebagai penelitian berasal dari Jembatan Cinta Muara Gembong, Kabupaten Bekasi, dan ruang katoda sebagai ruang untuk wadah akuades. Pada masing-masing ruang dapat menampung volume sebanyak 500 mL yang dipisahkan oleh jembatan garam yang memiliki panjang 10 cm.

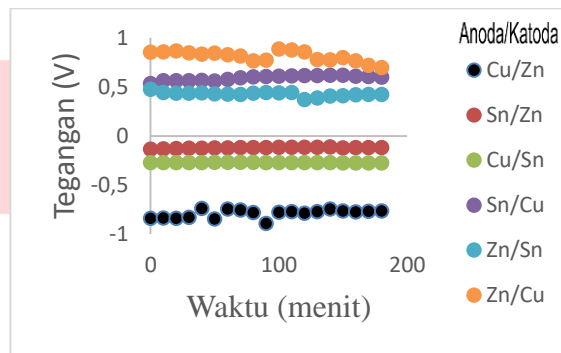
Dalam penelitian, sistem *Microbial Fuel Cell* menggunakan elektroda timah, seng dan tembaga yang dipasangkan secara kombinasi, dimana pada ruang anoda dan katoda berbeda jenis elektroda yang digunakan. Elektroda yang digunakan berbentuk pelat dengan luas permukaan masing-masing sebesar 10 cm^2 , dengan ketebalan yang berbeda yaitu elektroda timah sebesar 2 mm, elektroda seng sebesar 0,9 mm, dan elektroda tembaga sebesar 1,2 mm. Sebelum menggunakan Elektroda sebagai bahan penunjang penelitian, elektroda di preparasi terlebih dahulu yaitu dibersihkan dengan menggunakan amplas agar elektroda ketika digunakan sudah mengkilat dan bersih.

Didalam pengukuran tegangandan tegangan sebagai *output* yang terukur. Dalam penelitian tugas akhir, peneliti menggunakan lumpur bakau yang berlokasi di jembatan cinta muara gembong sebagai substrat yang terdapat didalam ruang anoda dan di ruang katoda terdapat akuades dan suplai oksigen. Bahan logam yang digunakan sebagai elektroda yaitu seng (Zn), timah (Sn), dan tembaga (Cu) yang dipasang secara kombinasi setiap pengukuran dimana di ruang anoda dan katoda elektroda yang digunakan di variasikan. Larutan elektrolit yang digunakan sebagai preparasi jembatan garam menggunakan NaCl dengan konsentrasi 1 Molaritas. Berikut bahan logam yang digunakan sebagai elektroda yang dipasang secara kombinasi yaitu Anoda/Katoda, Misalkan Cu/Zn berarti logam Cu yaitu logam yang terdapat di ruang anoda dan logam Zn yang terdapat diruang katoda.

3.2 Pengukuran Tegangan Pada Variasi Elektroda



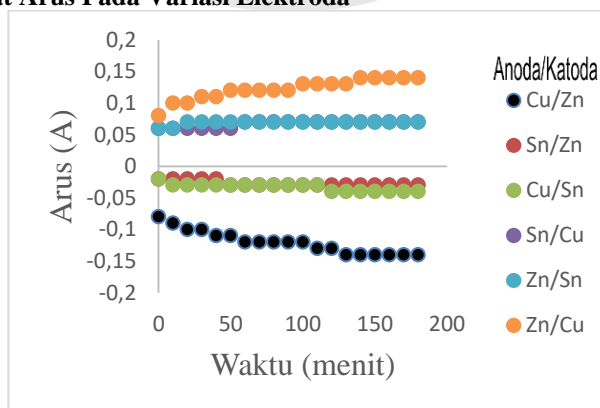
Gambar 3.1 Grafik Hasil Pengukuran Tegangan Pertama Pada Variasi Elektroda



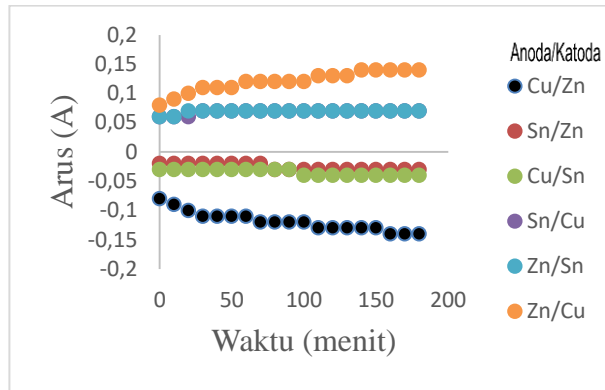
Gambar 3.2 Grafik Hasil Pengukuran Tegangan Kedua Pada Variasi Elektroda

Pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 adalah Hasil pengukuran tegangan Pada Variasi Elektroda dalam sistem perangkat *Microbial Fuel Cell Dual Chamber*, dengan menggunakan multimeter digital tanpa beban. Berdasarkan gambar diatas menunjukkan bahwa adanya penurunan nilai tegangan pada pengukuran kedua tetapi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Secara keseluruhan pada pengukuran kedua mengalami penurunan dibandingkan dengan pengukuran pertama, hal ini dikarena karena adanya selang waktu pengukuran, sehingga kandungan senyawa organik sebagai substrat dapat berkurang akibat adanya degradasi oleh mikroorganisme atau terjadi metabolisme senyawa organik oleh mikroorganisme. Berdasarkan hasil pengukuran tegangan memiliki hasil keluaran yang fluktuatif. Hal ini terjadi karena adanya interaksi antar bakteri dalam mendekomposisi kandungan senyawa organik [4]. Nilai tegangan maksimum yaitu dengan menggunakan elektroda Zn/Cu.

3.3 Pengukuran Kuat Arus Pada Variasi Elektroda



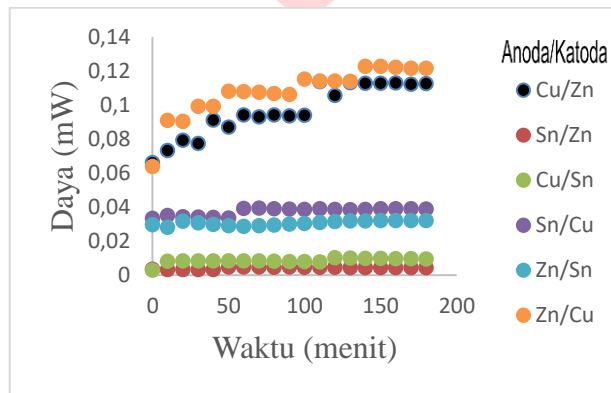
Gambar 3.3 Grafik Hasil Pengukuran Kuat Arus Pertama Pada Variasi Elektroda



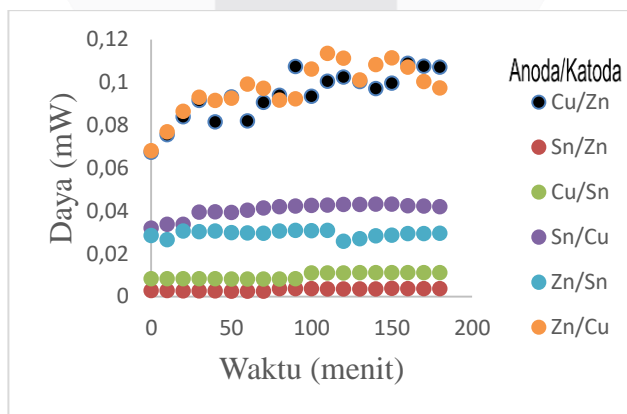
Gambar 3.4 Grafik Hasil Pengukuran Kuat Arus Kedua Pada Variasi Elektroda

Pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 adalah Hasil pengukuran kuat arus Pada Variasi Elektroda dalam sistem perangkat *Microbial Fuel Cell Dual Chamber*, dengan menggunakan multimeter digital tanpa beban. Berdasarkan gambar diatas menunjukkan bahwa kuat arus yang dihasilkan terus bertambah selama pengukuran.

3.4 Perhitungan Daya Pada Variasi Elektroda



Gambar 3.5 Grafik Hasil Perhitungan Daya Pertama Pada Variasi Elektroda

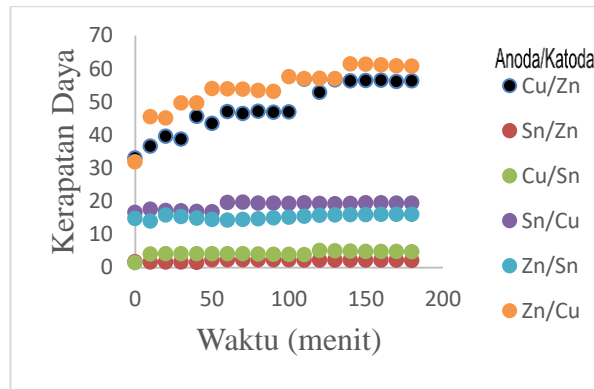


Gambar 3.6 Grafik Hasil Perhitungan Daya Kedua Pada Variasi Elektroda

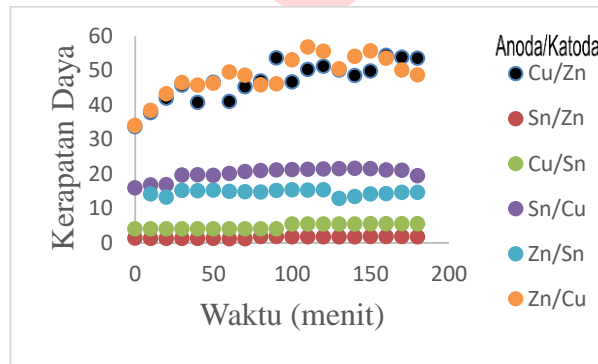
Pada Gambar 3.5 dan Gambar 3.6 adalah Hasil pengolahan daya Pada Variasi Elektroda dalam sistem perangkat *Microbial Fuel Cell Dual Chamber*, pengukuran dilakukan setiap 10 menit selama 180 menit atau 3 jam. Berdasarkan gambar diatas menunjukkan bahwa nilai maksimum daya dengan menggunakan kombinasi Zn/Cu yaitu

0,12278 *mW* menit ke 150 pada pengukuran pertama dan 0,11349 *mW* menit ke 110 pada pengukuran kedua. Nilai daya yang dihasilkan berbanding lurus dengan nilai tegangan dan arus yang dihasilkan sebagai *output* dalam pengukuran *Microbial Fuel Cell* yaitu semakin besar tegangan dan arus yang dihasilkan semakin besar daya yang dihasilkan.

3.5 Perhitungan Kerapatan Daya Pada Variasi Elektroda



Gambar 3.7 Grafik Hasil Perhitungan Kerapatan Daya Pertama Pada Variasi Elektroda



Gambar 3.8 Grafik Hasil Perhitungan Kerapatan Daya Pertama Pada Variasi Elektroda

Pada Gambar 3.8 dan Gambar 3.9 adalah Hasil pengukuran daya Pada Variasi Elektroda dalam sistem perangkat *Microbial Fuel Cell Dual Chamber*, pengukuran dilakukan setiap 10 menit selama 180 menit atau 3 jam. Berdasarkan gambar diatas menunjukkan bahwa nilai kerapatan daya yang dihasilkan berbanding lurus dengan nilai daya yang dihasilkan dari pengolahan pada persamaan 3.4 yaitu semakin besar tegangan dan kuat arus yang dihasilkan semakin besar daya yang dihasilkan.

Berdasarkan gambar diatas menunjukkan bahwa nilai maksimum kerapatan daya dengan menggunakan kombinasi Zn/Cu yaitu $61,39 \frac{mW}{m^2}$ menit ke 150 pada pengukuran pertama dan $56,745 \frac{mW}{m^2}$ menit ke 110 pada pengukuran kedua. Pengukuran kerapatan daya didapatkan dari nilai daya yang dihasilkan per luas permukaan elektroda, dimana pada penelitian ini luas permukaan elektroda sebesar 10 cm^2 pada tiap sisinya yaitu luas permukaan elektroda di anoda dan di katoda. Penurunan nilai kerapatan daya disebabkan karena adanya kestabilan mikroba yang mendegradasi senyawa organik sebagai substrat. Apabila waktu nya terlalu lama maka senyawa organik yang terdapat di anoda akan terus terdegradasi dikarenakan tidak ada senyawa organik yang tersisa untuk dioksidasi [4].

4. Kesimpulan

Dari hasil Penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Perangkat *Microbial Fuel Cell Dual Chamber* dengan menggunakan variasi bahan logam timah, seng, dan tembaga sebagai elektroda, dapat menghasilkan energi listrik dengan nilai kerapatan daya sebesar $33,04 \frac{mW}{m^2}$ hingga $61,39 \frac{mW}{m^2}$
2. Bahan logam sebagai elektroda yang memiliki nilai maksimum yaitu pada kombinasi bahan logam seng dengan tembaga dibandingkan dengan kombinasi elektroda lainnya seperti kombinasi timah dengan seng, tembaga dengan timah, timah dengan tembaga, seng dengan timah.
3. Kerapatan Daya Maksimum dengan menggunakan elektroda seng dengan tembaga, pengukuran pertama sebesar $61,39 \frac{mW}{m^2}$ pada menit ke 150 dan pengukuran Kedua sebesar $56,745 \frac{mW}{m^2}$ pada menit ke 110.

Daftar Pustaka

- [1] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. (2016). Outlook Energi Indonesia 2016. Jakarta: Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi BPPT.
- [2] Korneel Rabaey Korneel, Guez Rodri Jorge, Linda L Blackall, Kellen Jurg, Gross Pamela, Batstone Damien, Verstraete Willy, and Nealsen H Kenneth. (2007). *Microbial ecology meets electrochemistry: electricity-driven and driving communities*, Department of Earth Sciences, University of Southern California, Los Angeles, CA, USA.
- [3] B E, Hamelers B. (2006). Environmental Science and Technology. *Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology*. Penn State University, University Park, Pennsylvania.
- [4] Sari Rosita Dessy, Hidayat Chanifah. (2017). Studi Pemanfaatan Lumpur Sebagai Sumber Alternatif Energi Dengan Menggunakan *Microbial Fuel Cell (MFCs)*. Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [5] 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.
- [6] Chang Raymond. (2005). *Kimia Dasar: Konsep-Konsep Inti* (edisi 3.). Jakarta: Erlangga.
- [7] Reddy L V, Kumar S P, Wee Y J. (2010). Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology. *Microbial Fuel Cells (MFCs) - a novel source of energy for new millennium*.
- [8] Kristin Ester. (2012). Produksi Energi Listrik Melalui *Microbial Fuel Cell* menggunakan Limbah Industri Tempe. Fakultas Teknik Program Studi Teknologi Bioproses universitas Indonesia, Depok.
- [9] Hoogers G. (2002). *Fuel Cell Technology Handbook Trier University of Applied Sciences*. Jerman.
- [10] Smallman R.E, Bishop R.J. *Metarlugi Fisik Modern dan Rekayasa Material* (edisi 6). Jakarta: Erlangga
- [11] Hermayanti Agustin, Nugraha Irwan. (2014). Potensi Perolehan Energi Listrik Dari Limbah Cair Industri Tahu Dengan Metode *Salt Bridge Microbial Fuel Cell*. Jurusan Kmia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- [12] Ibrahim Bustami, Suptijah Pipih, Adjani Noor Zhalindri. (2017). Kinerja *Microbial Fuel Cell* Penghasil Biolistrik Dengan Perbedaan Jenis Elektroda Pada Limbah Cair Industri Perikanan. Departemen Teknologi Hasil Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor